

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Доклад
ГРИНПИС

Global Warming

THE **GREENPEACE** REPORT

Edited by Jeremy Leggett

Oxford · New York
OXFORD UNIVERSITY PRESS
1990

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Доклад
ТРИНТИС

Под редакцией
Дж. Леггетта

Издательство
Московского университета
1993

УДК 502.3

Глобальное потепление: Доклад Гринпис/Под ред. Дж.Леггетта. Перевод с англ. — М.: Изд-во МГУ, 1993. — 272 с.

ISBN 5-211-02991-7

В книге, подготовленной международной независимой экологической организацией Гринпис, проводится всесторонний анализ причин глобального потепления климата — самой серьезной угрозы для жизни на нашей планете в конце XX века. Описываются последствия потепления климата и обосновывается экономическая целесообразность возможных путей предотвращения экологической катастрофы.

Для широкого круга специалистов: экологов, биологов, экономистов и др.

Научное издание

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ. ДОКЛАД ГРИНПИС

Редактор *И.И.Щехура*. Художественный редактор *Л.В.Мухина*.
Переплет художника *Б.С.Казакова*. Технический редактор *З.С.Кондрашова*.

ИБ № 6325

ЛР № 040414 от 27.03.92.

Подписано в печать 20.10.93. Формат 60 × 90/16. Бумага офс. № 1. Гарнитура Таймс. Офсетная печать. Усл. печ. л. 17,0. Уч.-изд. л. 18,49 Тираж 2000 экз. Заказ 4465. Изд. № 5513. Ордена "Знак Почета" издательство Московского университета. 103009, Москва, у л. Герцена, 5/7.

Отпечатано в 12 ЦТ МО с оригинал-макета заказчика.

Г 1502020000—092 КБ № 16/17-35-93
077(02)—13

© Greenpeace Communications
Limited, 1993

ISBN 5-211-02991-7

© Переводчик Стеклова М.А., 1993

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

7

ГЛАВА 1 ПРИРОДА ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА

Джереми Леггетт

13

ГЛАВА 2 НАУКА О МОДЕЛИРОВАНИИ КЛИМАТА И ОБСУЖДЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Стефен Шнайдер

42

ГЛАВА 3 ЭФФЕКТЫ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Джордж Вудуэлл

67

ГЛАВА 4 ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА — ПОЛИТИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Жозе Голдемберг

84

ГЛАВА 5 РОЛЬ ЭФФЕКТИВНОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Эмори Лавинс

102

ГЛАВА 6 ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ВИДЫ ЭНЕРГИИ: ПОСЛЕДНИЕ КОММЕРЧЕСКИЕ УСПЕХИ В США И ПЕРСПЕКТИВЫ В БУДУЩЕМ

Карло ЛаПорта

134

ГЛАВА 7 АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ И ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Майкл П. Уолш

172

ГЛАВА 8
АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ И ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ
Билл Кипин
202

ГЛАВА 9
ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА:
ПОЗИЦИЯ «ГРИНПИС»
Джереми Легgett
226

ПРИМЕЧАНИЯ
246

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное изменение климата стало крупной научной и политической проблемой лишь в самые последние годы. Политики всего мира уклоняются от анализа результатов опросов, свидетельствующих о растущей тревоге общественности. Научные журналы перегружены публикациями на эту тему, анализами и комментариями. Сорок девять ученых — лауреатов Нобелевской премии обратились в 1990 г. к президенту Бушу с призывом принять меры к обузданию выбросов в атмосферу парниковых газов, заявляя, что «глобальное потепление является наиболее серьезной экологической угрозой XXI столетия, и только принимая меры уже сейчас, мы можем быть уверены, что грядущие поколения не столкнутся с этой угрозой».

В мае 1990 г. климатологи всего мира в докладе для Межправительственной группы экспертов по проблемам изменения климата (IPCC), созданной в 1988 г. Генеральной ассамблеей ООН с целью привлечь внимание мировых лидеров к серьезности проблемы глобального изменения климата, сформулировали ее предельно четко. «Мы уверены, — сказали более чем 300 ученых из более чем двадцати стран мира, — что выбросы в атмосферу, вызванные человеческой деятельностью, приводят к существенному увеличению концентрации парниковых газов в атмосфере... Это повышение концентрации увеличивает парниковый эффект, что приводит к дополнительному нагреву земной поверхности...» Ученые пришли к возможности предсказания, основанного на компьютерных моделях климата, о повышении средней температуры примерно на 1 град.С всего за тридцать лет, если сохранится нынешняя скорость поступления парниковых газов в атмосферу. Повышение температуры на градус как-будто бы и не очень велико, но это ведь в среднем по всему земному шару, где никогда ранее температура не возрастала так быстро, если судить по палеоклиматическим данным. Менее чем через полвека — если дела будут идти по-прежнему — мы столкнемся с температурами, неведомыми нам с тех пор, как человечество шествует по планете.

Более того, ученые, эксперты IPCC, заявили, что их оценки, скорее всего, несколько занижены: число неопределенностей, неизбежно присутствующих в расчетах изменений климата, огромно; и потепление, скорее всего, будет усиливаться в результате ряда природных

процессов. Один из них — неспособность нагревающегося океана поглощать из атмосферы нынешнее количество углекислого газа. Углекислый газ, выделяющийся в огромных количествах при сгорании угля, нефти и горючего газа, является основным парниковым газом. Другие парниковые газы — хлорфторуглероды, метан и окись азота.

В мире, который быстро привыкает к стремительным переменам политической обстановки, мы становимся свидетелями появления экологической угрозы. Эта проблема и впрямь глобальна, как по последствиям, так и по причинам ее вызывающим: ведь производство парниковых газов сверх всякой меры есть результат того, какими способами мы, люди, получаем и используем энергию, применяя промышленные химикаты, развивая интенсивное землепользование и уничтожая леса. В мире, где парниковому эффекту будет позволено нарастать и дальше, все мы — в свое время — окажемся потерпевшей стороной, и все мы — в разной степени — будем ответственны за это.

Количественный скачок в научном понимании проблемы не проясняет ситуации. Восьмидесятые годы были свидетелями появления новых моделей компьютеров, с помощью которых во всех научных центрах климатического моделирования начали предсказывать беспрецедентное глобальное потепление в ближайшие десятилетия. На это же время приходится пять самых теплых лет за весь период наблюдений. Замеченные всеми эффекты теплых 80-ых годов — засухи, наводнения, ураганы, не могли не привлечь внимание общества к проблеме глобального потепления.

Международная конференция, проведенная в 1988 г. по приглашению канадского правительства в Торонто, пришла к единодушному мнению о последствиях, «уступающих только мировой ядерной войне», которые грозят, если человечество не сумеет эффективно мобилизоваться и решительно пресечь выбросы парниковых газов. Это привлекло внимание Организации Объединенных Наций. Так была создана Межправительственная группа экспертов по проблемам изменения климата.

Большинство стран отложило определение своей экологической политики до выпуска докладов IPCC в августе 1990 г. — многие с неприкрытым смятением. Готовность к согласованным действиям по пресечению глобальной эмиссии парниковых газов была не для слабонервных политиков. Простые благоприятствующие меры типа вложений в развитие производства возобновляемых видов энергии или в массовое повышение эффективности энергозатрат воспринимались «политиками на пять лет», однако давление промышленных кругов, обычно столь эффективное, в решении проблемы, слишком далекой за пределами их сегодняшней ответственности, не было действенным. Экологи уже заговорили о синдроме «не при мне».

При всем том тревога нарастала. Например, заместитель премьер-министра Голландии говорил в 1989 г. президенту Бразилии, что если леса в Амазонии будут полностью сведены при продолжении поступления таких чудовищных порций углекислого газа, Голландия ско-

по перестанет существовать как страна из-за затопления при подъеме уровня моря в результате глобального роста температуры.

Стало очевидно, что стремление к прибылям неотвратимо приводит сегодня к порочной тактике. Мир тратит триллион долларов в год на уголь, нефть и газ... и триллион долларов на вооружение. Для многонациональной инфраструктуры, долги годы порождаемой этой кровавой колесницей, неприемлем мир, в котором сжигание природного газа должно быть урезано до предела, а концепция национальной безопасности из военной становится экологической.

Первая серьезная политическая реакция на проблему глобального потепления начала ощущаться в апреле 1990 г. На организованном Белым домом семинаре по глобальному потеплению западногерманский министр Тепфер привлек общее внимание, заявив, что предлагает германскому правительству обеспечить одностороннее уменьшение, по крайней мере, на 25% к 2005 г. выбросов углекислого газа в атмосферу. Голландия была среди тех, кто обвинил администрацию Буша в неуместной попытке отсрочки эффективных международных политических мер по уменьшению парникового эффекта в целях защиты американской индустрии. Группа из двенадцати европейских правительств хотела, чтобы международные переговоры для выработки соглашения по защите мирового климата — Конвенции по климату — начались еще до открытия Всемирной конференции по климату в октябре 1990 г.

Ученые, климатологи из IPCC, представляют всего лишь одну из трех рабочих групп, созданных в IPCC. Их заключение следовало увязать с рекомендациями двух других: по изучению воздействия изменений климата (Рабочая группа 2: Уровень возможного воздействия) и по системе ответных мер (Рабочая группа 3: Стратегия реакции общества). Предполагалось, что, сведенные вместе, итоги работы трех групп образуют общий доклад IPCC, который следовало распространить в августе 1990 г. Уже к июню стало ясно, что ужасные предостережения, сделанные учеными в их докладе, проигнорированы политиками третьей рабочей группы IPCC. Их доклад упоминал даже не о «глобальном потеплении», а лишь о «возможном изменении климата». Это противоречило согласованной позиции ученых, которые были «уверены» в глобальном потеплении в случае, если не будут предприняты существенные усилия по ограничению выброса парниковых газов.

Рабочая группа по стратегии реакции общества не поставила даже вопроса о «замораживании» уровня выброса парниковых газов, что много меньше, чем резкое ограничение, указанное учеными как необходимое условие любой попытки замедлить или обуздать рост парникового эффекта. Ученые из IPCC подсчитали (с большой надежностью), что для стабилизации содержания углекислого газа в атмосфере на современном уровне суммарное поступление только этого парникового газа должно быть сокращено более чем на 60%.

Атмосфера уже содержит на 25% больше углекислого газа, чем было накоплено в последние 160000 лет. И содержание газа непрерыв-

но нарастает на 0,5% в год. Имея это в виду, многие специалисты выступают за сокращение выброса углекислого газа на 20% в следующем десятилетии.

Пока все демонстративно ожидали мнения ИРСС, политики с трудом поддерживали видимость, что принимают всерьез угрозу парникового эффекта. В США, например, Министерство энергетики планировало 22%-ное увеличение поступления углекислого газа к 2010 г., а президент Буш возражал против положения Акта Чистого Воздуха, требовавшего от производителей повышения экономичности автомобилей до 40 миль на галлон горючего как средства ограничения выброса углекислого газа. В Великобритании среди других примеров сведения к минимуму влияния любых решений по ограничению выброса углекислого газа можно указать как на планируемое Министерством транспорта 80–140%-ое увеличение числа автомобилей на дорогах, так и на упорное раздувание Министерством энергетики своего энергетического прожектерства.

Тем временем в обществе росло осознание проблемы. В Великобритании опрос общественного мнения показал, что почти каждый слышал о парниковом эффекте, 76% населения он тревожил (28% были очень озабочены), и почти 80% полагало, что правительство делает слишком мало для решения этой проблемы (41% — «совсем мало»). В США 60% населения полагало, что глобальное потепление есть предмет для беспокойства, а 72% хотело бы, чтобы правительство возглаголило действия по его предотвращению.

Множество специальных исследований, сведенных в нескольких главах Доклада Гринпис, показало, что выброс углекислого газа может быть существенно ограничен в течение следующего десятилетия и без существенных затрат. При правильном законодательном оформлении гораздо дешевле экономить энергию, чем находить дополнительные мощности для ее производства. Регулируя цену киловатт-часа многих видов возобновляемой энергии, уже сегодня можно говорить о производстве в будущем энергии, не влияющей на увеличение парникового эффекта.

Однако все это требует коллективной готовности к поддержке необходимых изменений, как и права на государственное вмешательство и капиталовложение. Правительство Великобритании первым пошло на такой риск вопреки собственным предрассудкам. Расходы на исследование и развитие экономической энергетики в 1989–1990 гг. составили лишь 8,9 млн. фунтов стерлингов (15,5 млн. долл.), на возобновляемые источники энергии — лишь 18 млн. фунтов (31,4 млн. долл.). В США финансирование экономической энергетики и возобновляемых источников было резко уменьшено в 80-ых годах. В Европейском Сообществе бюджетное финансирование исследований и развития ядерной энергетики все еще много больше, чем для возобновляемых источников и экономической энергетики, вместе взятых.

Эта книга была рождена нашей уверенностью, что ученые в ИРСС хотели бы честно отражать беспрецедентный научный консен-

сус, существующий сегодня в мире, и, в равной мере, нашей уверенностью в том, что большинство правительств предпочло бы игнорировать его, насколько это возможно. Это означает, что Межправительственная группа экспертов ООН по проблеме изменения климата упустила свою роль в самом важном в истории процессе международных консультаций. Люди, определяющие политику в этой области, упорно отказывались прислушаться к отчаянным и, по существу, единодушным призывам климатологов всего мира: они по-прежнему продолжают рекомендовать раздачу повязок на глаза вместо действенных предупреждений о бедствии. Хотя сама жизнеспособность человечества поставлена на карту, не говоря уже о тех экологических травмах, которые необузданное глобальное потепление нанесет окружающей среде и ее несчастным обитателям. Однако необходимость поспешить не ощущается в намерениях политиков.

Именно это делает Доклад Гринпис столь важной книгой. В разделе 1, посвященном вопросам науки*, этот доклад ясно резюмирует обоюдоострую суть риска, возникающего из-за плохого понимания нами климатических изменений. В разделе 2**, посвященном воздействию глобального изменения, он суммирует страшные последствия глобального потепления. Наиболее важен раздел 3***, где демонстрируется весь набор средств, с помощью которых можно предотвратить или хотя бы задержать глобальное потепление.

Доклад Гринпис написан ведущими учеными и аналитиками в области энергетики из США, Великобритании, Швеции, Бразилии и Индии. Каждый автор писал свою главу независимо — книга не есть доклад какого-либо комитета. Однако основные идеи доклада ясны и разделяются всеми авторами, независимо от того, согласны ли они или нет с полной программой Гринпис по глобальному потеплению, изложенной в заключительной главе. Эти идеи состоят в следующем: человечество могут ожидать серьезные проблемы в связи с угрозой глобального потепления, риск ничегонеделания намного превышает все возможные виды риска, связанные с активной реакцией общества; возможность такой реакции, в первую очередь, состоит в переходе от использования природного топлива к экономической энергетике и возобновляемым видам энергии, в отказе от применения хлорфторуглеродов и производных химических веществ — парниковых газов, в прекращении уничтожения лесов, в изменении методов ведения сельского хозяйства. Все эти средства доступны и готовы к применению, если человечество проявит коллективную волю к переменам.

Я слышал высказывание одного из высших руководителей Европейского Сообщества — человека, ответственного за рекомендации европейским правительствам по их энергетической политике: «Если ученые IPCC правы, то мы находимся на «Титанике», и вопрос лишь

В русском переводе сохранены две из четырех глав этой секции.

* В русском переводе сохранена одна из трех глав этой секции.

** В русском переводе сохранены шесть из двенадцати глав этой секции.

в том, плывем ли мы первым классом или в трюме. Я предпочитаю первый класс*». Мы хотели показать в этой книге, что такая точка зрения является дезориентирующей и безответственной. Должна, однако, восторжествовать точка зрения тех из нас, кто хотел бы заключить честное соглашение с нашими детьми и детьми наших детей.

Наши предки сумели уничтожить рабство. Мы тоже можем — вопреки приверженности к бездействию людей, подобных упомянутому руководителю ЕС — не допустить, чтобы, продолжая нашу опасную глобальную игру с парниковыми газами, мы поставили на карту будущее наших детей.

Джереми Леггетт
Лондон, июль 1990 г.

* На «Титанике» лишь пассажиры первого класса были обеспечены спасательными шлюпками. — Прим.перев.

Глава I

ПРИРОДА ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА

Джереми Леггетт (Jeremy Leggett)

«...В наше «индустриальное» время, когда очень велика интенсивность выбросов парниковых газов, скорость роста температуры на земном шаре стала беспрецедентной в истории человечества; геологические данные позволяют говорить с большой вероятностью о столь же беспрецедентном глобальном потеплении... Это утверждение основано на анализе существующих ныне математических моделей климата, естественные же механизмы усиления потепления (положительные обратные связи) климатологи называют возможными «факторами»...»

Парниковые газы — это газы, создающие в атмосфере экран, задерживающий инфракрасные лучи, которые в результате нагревают поверхность Земли и нижний слой атмосферы (рис. I.1). Эти газы присутствовали в атмосфере в незначительном количестве почти на всем протяжении истории Земли. Наиболее значимым природным парниковым газом благодаря своему обилию являются пары воды. Следующий в этом ряду парниковый газ — двуокись углерода (CO_2) — попадает в атмосферу как естественным, так и искусственным путем. В продолжение всей истории Земли он поступал в атмосферу в результате вулканической деятельности и участвовал в естественном круговороте углерода в природе. В отсутствие CO_2 температура поверхности Земли была бы примерно на 33 град. С ниже, чем в настоящее время, что оздало бы крайне неблагоприятные условия для жизни животных и растений [1]. Но CO_2 вносится в атмосферу и искусственным путем в результате человеческой деятельности, главным образом за счет

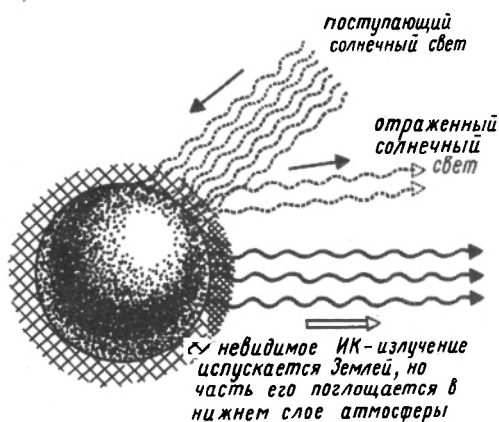


Рис.1.1. Механизм парникового эффекта. Солнечная радиация достигает Земли, часть ее отражается. Большая часть проникает сквозь атмосферу и нагревает поверхность Земли. Землей испускается невидимое инфракрасное (ИК) излучение, в результате чего Земля охлаждается. Однако часть этого ИК-излучения поглощается парниковыми газами в атмосфере, которая играет роль «одеяла», удерживающего тепло. (Источник: Департамент по охране окружающей среды Великобритании, «Изменение глобального климата», май 1990 г.).

сжигания ископаемого топлива и уничтожения (в настоящее время) тропических лесов (вырубка лесов в умеренном поясе заметно влияла на климат в прошлом). Следовательно, необходимо делать различие между естественным парниковым эффектом и созданным человеком (или антропогенным) усиленным парниковым эффектом. В этой книге для описания последнего авторы используют взаимозаменяемые термины «парниковый эффект» и «глобальное потепление».

В настоящее время о парниковых газах хорошо известно каждому, кто регулярно следит за мировыми новостями в естественных науках. Эти газы, их источники, скорость, с которой они накапливаются в атмосфере, а также доля их влияния на глобальное потепление [2] показаны в таблице I.I.

В формировании климата Земли участвует не только атмосфера. Климат определяется сложными взаимодействиями между атмосферой, океанами, ледяными шапками на полюсах, животными, растениями и осадочными породами. Ученые говорят о «климатической системе» имея в виду все природные факторы, взаимодействие которых формирует климат. В состав ее входит, по крайней мере, пять компонентов: атмосфера, океан, криосфера [3], биосфера [4] и геосфера [5].

Когда климатическая система находится в равновесии, как это было до технической революции и вызванного ею значительного увеличения выбросов антропогенных парниковых газов, поглощенная солнечная радиация уравнивается излучением Земли и атмосферы. Любой фактор, который может внести изменение в этот баланс и тем самым повлиять на климат, рассматривается как фактор, усиливающий излучение [6]. К таковым относятся активно влияющие на излучение газы, которые мы называем парниковыми, а также солнечная радиация, аэрозоли [7] и альbedo [8].

Физические процессы, благодаря которым парниковые газы могут повысить температуру воздуха, известны с конца прошлого столетия [9]. Однако многие ученые до недавнего времени придавали мало зна

Таблица 1.1

Распространенные парниковые газы, их источники, скорости поступления в атмосферу и доля их влияния на глобальное потепление в 1980-х гг.

Газ *	Основные источники	Современный уровень среднегодового прироста и концентрация, % **	Доля влияния на глобальное потепление, (%) ***
Двуокись углерода (CO ₂)	Сжигание ископаемого топлива (77%) Вырубка лесов (23%)	0,5% (353 ppm v)	55
Хлорфторуглероды (фреоны) и родственные газы	Различные промышленные применения: охлаждающие вещества, утечка пенных растворителей	4% (280 ppt v ХФУ-11 484 ppt v) ХФУ-12)	24
Метан (CH ₄)	Рисовые плантации Утечка газа Жизнедеятельность животных	0,9% (1,72 ppt v)	15
Окись азота (N ₂ O)	Сжигание биомассы Применение удобрений Сжигание ископаемого топлива	0,8% (10 ppb v)	6

Источники и примечания:

*/ Влияние тропосферного озона также значительно, но его очень трудно оценить количественно. Озон образуется в тропосфере в результате химических взаимодействий под действием солнечных лучей между несгоревшими углеводородами и окислами азота, образовавшимися в результате сжигания ископаемого топлива.

**/ Доклад Рабочей группы I Межправительственной группы экспертов по проблемам изменения климата, Предисловие, стр.6.

***/ там же, оценка сделана для десятилетия 1980-х гг.

****/ там же, раздел I, стр. 12, округлено (разброс ошибок см. в таблице).

*****/ Заметим, что производство фреонов (хлорфторуглеродов) началось только за несколько лет перед второй мировой войной. В настоящее время, когда стало известно, что эти газы разрушают озоновый слой, химическая промышленность готовит заменители — гидрохлорфторуглероды и гидрофторуглероды. Хотя они не уменьшают толщину озонового слоя столь значительно (и еще не производятся в массовых количествах), они являются сильнодействующими парниковыми газами.

чения антропогенным парниковым газам. Отчасти это обусловлено известными нам естественными изменениями климата на протяжении последних нескольких миллионов лет. Недавние анализы кернов из ненарушенных отложений океанического дна и ледяных кернов из Антарктики подтвердили высказанные ранее идеи, что чередование ледниковых и межледниковых периодов происходит в ритме, определяемом изменениями орбиты вращения Земли относительно Солнца [10]. Поскольку прошлые межледниковые периоды продолжались, предположительно, около 10 тыс. лет, а текущий межледниковый период к настоящему моменту насчитывает такое же время, многие ученые предполагают, что Землю ожидает новый ледниковый период и что антропогенные

выбросы парниковых газов не изменяют этот естественный процесс, но возможно, несколько замедлят его.

Однако в 1980-х гг. ученые, моделирующие будущие изменения климата с учетом скорости выделения парниковых газов в настоящее время и в недавнем прошлом, сошлись на такой точке зрения: если не приложить усилий для сокращения выбросов парниковых газов, на Земле произойдет небывалое в истории человечества повышение средней температуры. Это единодушное мнение, которое преобладало в течение примерно десятилетия среди всех (за исключением незначительного меньшинства) ученых, занимавшихся моделированием климата [11], было зафиксировано в докладе Межправительственной группы экспертов по проблемам изменения климата (IPCC). В этом обширном исследовании, законченном в мае 1990 г., принимало участие более 300 ведущих мировых климатологов [12].

В настоящей главе кратко рассматриваются основные выводы доклада IPCC, неясные вопросы в науке, которая лежит в основе предсказаний глобального потепления, и обратные связи в климатической системе. Обратные связи являются центральным пунктом при оценке вероятности глобального потепления. Они представляют собой физические явления, которые могут быть приведены в действие ростом температуры в атмосфере и океане. Они могут смягчать глобальное потепление (отрицательные, или «охлаждающие», обратные связи) или усиливать его (положительные, или «нагревающие», обратные связи).

I.1. Прогнозирование изменений климата

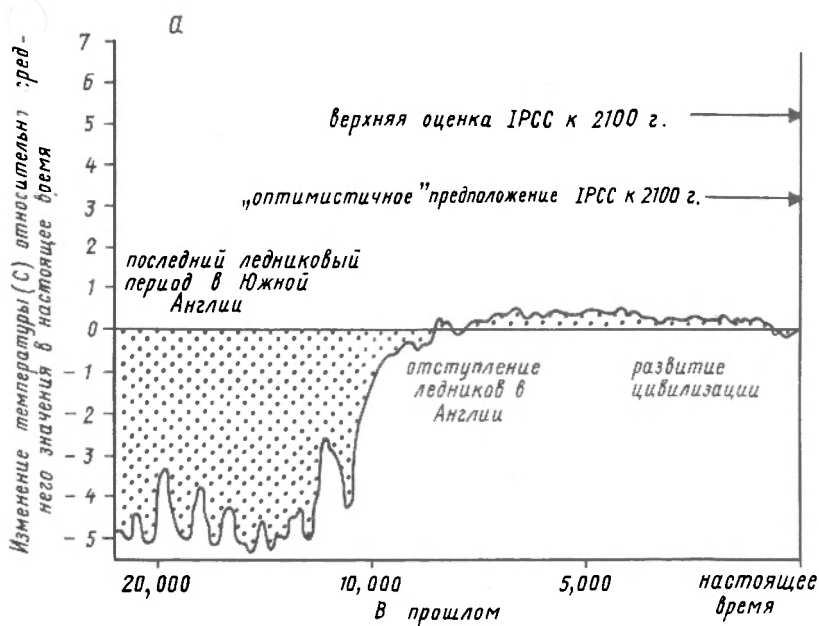
В настоящее время существует около десяти главных климатологических центров, где созданы компьютерные модели будущего климата, обладающие широкими возможностями [13]. Такие модели, известные как модели глобальной циркуляции (МГЦ), используют огромную мощность ЭВМ для учета множества взаимосвязанных природных факторов, определяющих будущий климат. В главе 2 Стефен Шнайдер (Stephen Schneider) объясняет, как работают эти модели.

В данное время МГЦ предсказывают повышение средней глобальной температуры на величину от 1,5 до 4,5 град. С вследствие «эффективного удвоения» количества двуокиси углерода по сравнению с его уровнями в доиндустриальную эпоху [14]. «Эффективное удвоение» означает усиление в 2 раза парникового эффекта по отношению к доиндустриальным уровням концентрации двуокиси углерода. Другими словами, это такое увеличение концентрации двуокиси углерода, которое в добавление к воздействию других парниковых газов эквивалентно удвоению доиндустриальных уровней содержания двуокиси углерода. Такое эффективное удвоение произойдет примерно в 2030 г., если выбросы парниковых газов будут продолжаться на современном уровне [15].

По причине тепловой инертности океанов (их медленного прогрева) климатологи различают «фактическое» потепление и «равновесное» потепление [16]. Фактическое потепление, предсказанное моделями IPCC, составит примерно 1 град.С относительно сегодняшнего дня к 2025 г. и 3 град.С к концу следующего столетия. Равновесное потепление, которое достигается после дополнительного повышения температуры, должно произойти примерно тогда же. В настоящее время, например, среднемировые температуры примерно на 0,3–0,6 град.С выше, чем в «доиндустриальные» времена [17]. Это нельзя однозначно отнести на счет потепления, вызванного парниковым эффектом, из-за естественной изменчивости климата. Но дополнительное потепление из-за эмиссий парниковых газов — потепление, которое должно привести климат в новое равновесное состояние по сравнению с тем, которое определялось выбросами парниковых газов между 1880 и 1989 гг., будет характеризоваться в недалеком будущем ростом температуры от 0,5 до 1,5 град.С [18]. Ученые IPCC, исходя из анализа лучших климатических моделей, пришли к заключению, что при неизменном увеличении выбросов фактическая температура через некоторое время составит от 60 до 80% от фиксированной температуры. Они не могут сказать, сколько времени (десятилетия или века) займет медленный рост температуры до равновесного состояния, которое осуществится в том (маловероятном) случае, если выбросы будут поддерживаться на постоянном уровне [19]. Тогда для простоты лучше характеризовать потепление в понятиях фактических температур. Ученые IPCC предсказывают в следующем столетии повышение фактических температур (показанное на рис.1.2). В докладе Гринпис речь идет о фактических температурах, если не дано других определений.

1.2. Изменения климата в прошлом

Для понимания роли, которую играют температурные изменения, предсказанные в докладе IPCC, в природной окружающей среде, полезно знание данных о климате геологического прошлого Земли. В последние годы ученые расширили наше понимание прошлых изменений климата, используя анализ кернов льда и осадочных пород. Изучение изотопов кислорода и водорода из пузырьков воздуха в толще льда позволяет определить температуру воздуха во время образования льда [20]. В Антарктике была проведена непрерывная регистрация температуры при образовании льда при бурении до глубин, соответствующих возрасту 160 тыс. лет. Подобную информацию при изучении осадочных пород в океанах и озерах дают раковины крошечных планктонных организмов. В этом случае изотопы кислорода позволяют определить температуру воды, в которой формировалась раковина. Анализируя лед и осадочные породы различного возраста, можно построить кривую температурных изменений. В недавние годы было выполнено



множество таких измерений [21], что позволяет ученым все более детально реконструировать климат и океанские течения, углубляясь (при исследованиях океанических осадочных пород) в прошлое на десятки миллионов лет.

Исследования ледяных кернов обладают большим преимуществом: они позволяют измерить содержание двуокиси углерода в воздухе в различные эпохи с помощью маленьких пузырьков воздуха, содержащихся на различных глубинах в толще льда. Когда это было сделано, ученые обнаружили, что содержание двуокиси углерода в воздухе коррелируется с температурой. В межледниковые периоды концентрация CO_2 высока, в среднем 280 частиц на млн (ppm), а в ледниковые периоды относительно низка, в среднем 210 ppm и падает до таких низких значений, как 180 ppm [22]. В настоящее время концентрация CO_2 составляет 353 ppm; это уровень, который никогда не достигался ранее за все время существования человека на планете. Почему мы выбрали такой пример? В последние годы среди ученых установилось определенное согласие в том, что переходы от ледникового периода к межледниковому и наоборот на нашей планете вызываются изменениями орбиты ее вращения вокруг Солнца [23]. Однако только изменений орбитальных параметров недостаточно, чтобы объяснить быстроту и величину переходов, наблюдаемых в кернах льда и осадочных пород. Изменения должны были быть усилены различного рода обратными связями, среди которых парниковые газы, несомненно, играли определенную роль.

Рис.1.2 иллюстрирует характер изменений средних глобальных поверхностных температур, связанных с последним переходом от лед-

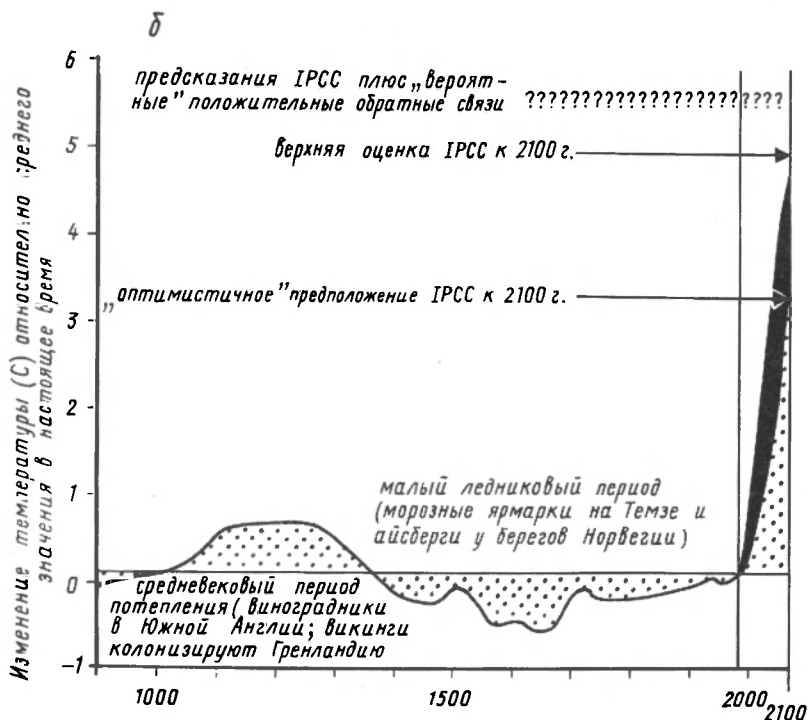


Рис.1.2. Обобщенные средние глобальные температуры в доисторический период: а — за последние 20 тыс. лет, б — за последние 1000 лет. Усредненные значения очерчивают область величин, полученных из анализа кернов льда и осадочных пород. Следует отметить быстрый рост температур примерно 12 тыс. лет назад, когда на Земле закончился последний ледниковый период. В это время средняя температура увеличивалась примерно на 5 град.С за несколько тысячелетий. Увеличение средней температуры, предсказанное на период после 1990 г. учеными IPCC, должно происходить в несколько раз быстрее. На рис.(а) рост температуры незаметен из-за масштаба графика. На рис. (б) серый пик соответствует «оптимистичному» предположению ученых IPCC. Черный пик представляет верхний диапазон оценок, полученных из анализа моделей IPCC. Однако, по наблюдениям ученых IPCC, вероятность положительных обратных связей (многие из них не учитывались в климатических моделях) означает, что реальное увеличение температуры в следующем столетии, возможно, будет выше, чем предсказанное.

(По материалам Отчета № 6 по Международной геосферно-биосферной программе «Глобальные изменения в прошлом» июль 1988 г. и Департамента по охране окружающей среды Великобритании, «Глобальное изменение климата» май 1990 г., с учетом результатов ученых IPCC).

никового к межледниковому периоду, и показывает рост температуры, предсказанный в докладе IPCC, как результат парникового эффекта, обусловленного человеческой деятельностью. Рисунок представляет собой обобщение средних глобальных температур, сделанное на основе данных, полученных при изучении кернов льда, окаменелых оболочек микроорганизмов и других индикаторов климата в далеком прошлом, таких, как окаменелые остатки пыльцы и растений, которые предположительно, по аналогии с их потомками, были чувствительны к изменениям температуры [24]. Относительно быстрое потепление, которое произошло в течение нескольких тысячелетий, повлекло за собой пере-

ход к современной межледниковой фазе, включающей в себя эпоху цивилизации.

Во время современного межледникового периода средние глобальные температуры не отклонялись существенно в ту или иную сторону от современной средней глобальной температуры, которая составляет 15 град.С. Временами, например в «малый» ледниковый период между XVI и XVIII веками, температуры в среднем были ниже. В другие времена, такие, как период средневекового потепления, когда викинги колонизировали Гренландию (возможно, назвав ее так за ее зеленый покров), температуры в среднем были выше. По-видимому, средняя температура никогда не превышала сегодняшних значений более чем на 1 град. С, несмотря на то что в течение этого времени имели место заметные колебания климата. Например, в 1816 г. («год без зимы»), когда средняя глобальная температура была ниже сегодняшней менее чем на 1 град.С, в июне даже в таких южных районах, как Новая Англия, наблюдались губительные для урожая морозы [25].

Скорость увеличения средней глобальной температуры, предсказанная учеными ИРСС, иллюстрируется рис. 1.26. На этом рисунке представлена кривая температурного роста в наиболее благоприятном случае (при допущении, что выбросы парниковых газов будут расти так же, как сегодня); к 2030 г. температура может превысить сегодняшние значения на 1 град.С, а к концу следующего столетия — примерно на 3 град.С. На рисунке представлена также максимальная оценка фактических температур, предсказанная моделями (превышающая к 2100 г. сегодняшнюю температуру более чем на 5 град.С). Однако на рисунке отсутствует какое-либо изображение температурного хода, который мог бы возникнуть под влиянием положительных обратных связей, которые ученые ИРСС расценивают как вероятные [26].

Ограничиваясь следующим столетием и сосредоточившись скорее на скорости изменений, чем на абсолютных значениях температуры, полезно сравнить явления при переходе от ледникового к межледниковому периоду примерно 10 тыс. лет назад с предсказаниями для XXI столетия и далее, основанными на МГЦ. При среднем значении роста температуры для послеледникового периода 5 град.С средняя глобальная температура изменялась со скоростью около 1 град.С приблизительно каждые 500 лет (хотя на примере Гренландии видно, что для периодов времени в несколько десятилетий температуры могли измениться гораздо быстрее) [27]. Даже при «наиболее благоприятной оценке» ИРСС рост фактических температур примерно к 2100 г. составит около 3 град.С [28], а скорость изменения — около 1 град.С приблизительно каждые 30 лет или 0,3 град.С за десятилетие. Учитывая диапазон оценок, полученных при моделировании, Стефен Шнайдер рассчитал, что скорость роста средних глобальных температур будет примерно в 10—100 раз выше, чем при переходе от ледникового к межледниковому периоду около 10 тыс. лет назад [29].

Из рис.1.2 и приведенных выше объяснений видна суть дела: существуют ли положительные обратные связи или нет, но если подав-

ляющее большинство специалистов по глобальному климату правы, то «...в наше «индустриальное» время, когда очень велика интенсивность выбросов парниковых газов, скорость роста температуры на земном шаре стала беспрецедентной в истории человечества; геологические данные позволяют говорить с большой вероятностью о столь же беспрецедентном глобальном потеплении, а также о том, какое напряжение будет испытывать окружающая среда, если это случится. Это утверждение основано на анализе существующих ныне математических моделей климата, естественные же механизмы усиления глобального потепления (положительные обратные связи) климатологи называют «возможными» факторами, которые будут действовать, если будет допущен дальнейший рост концентрации парниковых газов в атмосфере (как поясняется в разделе 1.5).

Следует учитывать еще один аспект. Рост температуры в результате неумеренных антропогенных выбросов парниковых газов является, в принципе, открытым вопросом. Ученые выдают свои «компьютерные» предсказания на ограниченный срок — 50 или не более 100 лет только по той причине, что при этом неопределенности не столь обескураживающи. Абсолютная температура на Земле была когда-то много выше. По оценке геологов, в эпоху динозавров около 100 млн лет назад средняя глобальная температура была примерно на 10–5 град.С выше, чем в настоящее время. По результатам реконструкций климата, выполненных палеонтологами, можно предположить, что это был период максимального прогрева атмосферы Земли за всю историю существования высших животных, которая насчитывает 600 млн лет [30]. Если концентрация в атмосфере парниковых газов будет продолжать нарастать в том же темпе, что и в настоящее время, возможно, что при последующем глобальном потеплении температуры будут выше, чем испытывали жившие когда-либо на планете животные.

1.3. Очевидны ли первые проявления антропогенного парникового эффекта?

Когда один из выдающихся ученых на конгрессе NASA (Национальное агентство по авиационным и космическим исследованиям, США) в 1988 г., во время сильной засухи, заявил, что «с высокой степенью достоверности потепление (увеличение средней глобальной температуры приблизительно на 0,5 град.С в этом столетии) можно связать с парниковым эффектом» [31], он вызвал бурю критики [32]. Позже некоторые ученые согласились с ним в том, что физические проявления антропогенного парникового эффекта уже не вызывают сомнений. Ричард Хоутон (Richard Houghton) и Джордж Вудвелл (George Woodwell) утверждали: «Жара и засуха, которые затронули Северную Америку и другие регионы Земли в последние годы, согласуются с предсказаниями возможности глобального потепления. Имеются и дру-

гие признаки возрастающего потепления». Они ссылались на сообщения об увеличении расстояния до зоны вечной мерзлоты в Аляске и Канадской Арктике, о возрастании средней температуры озер в Канаде, об уменьшении годовой максимальной протяженности ледникового покрова в Антарктике и Арктике, а также об убывании количества айсбергов в Европе и других районах [33]. Необычные климатические явления в последние годы — ураган Хьюго, наводнения в Африке и в Индии, бури в Европе — породили предположение, что это «сигнал» нарастающего парникового эффекта.

В сентябре 1989 г. было получено сообщение о значительном уменьшении толщины арктического льда. Полярный институт Скотта в Великобритании выпустил отчет, основанный на радарных измерениях, выполненных английской атомной подводной лодкой, в котором показано, что толщина льда в районе севернее Гренландии уменьшилась с 6,7 м в 1976 г. до 4,5 м в 1987 г. [34]. Необычное уменьшение ледяного покрова, являющееся результатом роста средней температуры воздуха на 1,1 град.С между 1982 и 1986 гг., было также отмечено на Антарктической гидрографической базе Великобритании [35].

Однако все эти явления могут быть расценены как случайные или даже «курьезные» и, возможно, вызваны хорошо известной естественной изменчивостью климата. По заключению ученых ИРСС, масштабы потепления XX века «явно согласуются с предсказаниями климатических моделей, но по величине соответствуют также естественной климатической изменчивости... Достоверное обнаружение увеличенного парникового эффекта по наблюдениям за десятилетие или более невозможно» [36]. Как отметил Уоллес Брекер (Wallace Broecker), «тот факт, что мы не можем доказать, что потепление в течение последнего столетия было вызвано парниковыми газами антропогенного происхождения, не является главным результатом. Скорее, результат состоит в том, что, добавляя в атмосферу газы, поглощающие инфракрасное излучение, мы действительно играем с климатом в русскую рулетку» [37].

I.4. Углеродный цикл

Перед тем как перейти к следующей главе, в которой обсуждаются методы моделирования климата, необходимо рассмотреть атмосферу и в ее связи с другими компонентами климатической системы. В обмене углеродом между атмосферой и главными резервуарами углерода на планете — биотой, почвой и океанами — участвует множество физических процессов. Описание этих процессов упрощает рис. 1.3. Количества углерода указаны в миллиардах тонн(гигатоннах — Ггт).

Наземная биота — все живущее на суше (по объему преобладают растения) поглощает ежегодно примерно 102 Ггт углерода из углекислого газа, который участвует в фотосинтезе — образовании органи-

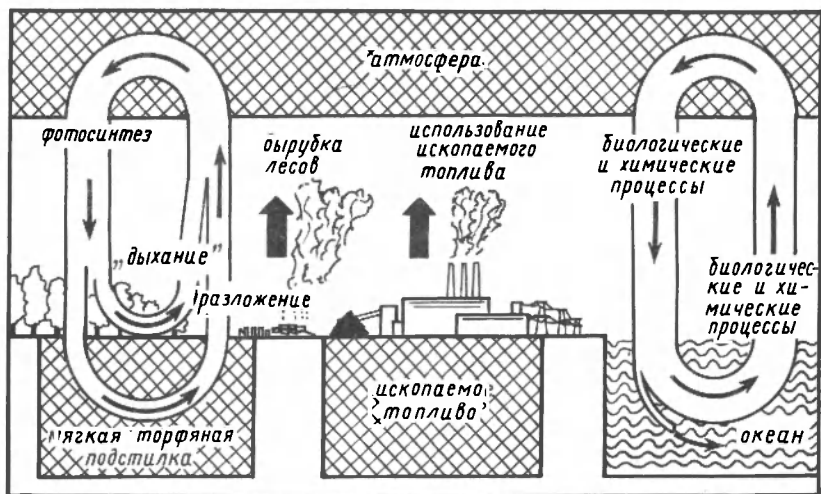


Рис.1.3. Обобщенное изображение углеродного цикла, иллюстрирующее его главные резервуары и потоки. Количества углерода приведены в Ггт (резервуары) и в Ггт/год (потоки). Данные взяты из материала IPCC «Научная оценка изменения климата» рис.1.1 и ссылки там же. Рисунок основан на схеме Стефена Шнайдера в «Scientific American», декабрь 1989 г.

ческих молекул из двуокиси углерода и воды в присутствии солнечного света [38]. Это составляет около 14% от общего содержания CO_2 в атмосфере. Дыхание биоты — выделение двуокиси углерода в результате разложения органических молекул — возвращает в атмосферу ежегодно 50 Ггт углерода. Гниение остатков растений в почве, главным образом в поверхностном слое, вызываемое бактериями, добавляет еще 50 Ггт углерода в виде углекислого газа, поступающего в атмосферу. Таким образом в углеродном цикле поддерживается приблизительный баланс между наземной биотой и атмосферой, причем возможно, что ежегодно в наземной биоте удерживается 2 Ггт углерода.

В океанических областях CO_2 также извлекается из атмосферы. Это результат как химических, так и биологических процессов. Двуокись углерода попадает в раствор в виде ионов солей угольной кислоты, и одноклеточные растения (фитопланктон) поглощают CO_2 в результате фотосинтеза. Таким путем из атмосферы поглощается около 92 Ггт углерода ежегодно. С поверхности воды примерно 90 Ггт углерода ежегодно возвращается в атмосферу. Физический и биологический процессы очевидны: выделение двуокиси углерода как непосредственно морской водой путем диффузии, так и фитопланктоном за счет дыхания. Чистый результат таков: около 2 Ггт углерода ежегодно удерживается океаном [39].

В отсутствие антропогенных выбросов углеродный цикл наземной биоты, океанов и атмосферы должен находиться в равновесии; избыточное поглощение двуокиси углерода в наземной биоте и океанах примерно уравнивается периодическим добавлением в атмосферу

двуокиси углерода в результате вулканической деятельности [40]. Однако, как мы видели, с самого начала «индустриальной» эпохи человечество оказывает возрастающее влияние на углеродный цикл.

Ископаемое топливо — каменный уголь, нефть и газ — состоит из углерода, дошедшего до нас из доисторических времен. Каменный уголь образовался, в основном, из окаменелых остатков растений. Нефть обязана своим происхождением, главным образом, химическому преобразованию органического вещества под воздействием температуры, заключенного, большей частью, в морских отложениях, образованных древним фитопланктоном. Газ образуется в результате сходных процессов, происходящих в осадочных породах, состоящих преимущественно из остатков растений. Если полезные ископаемые не добываются и не сжигаются человеком, весь этот углерод исключается из естественного углеродного цикла. Но люди сжигают ископаемое топливо со скоростью, при которой в настоящее время в атмосферу ежегодно добавляется 5,7 Ггт углерода. К этому следует добавить 2 Ггт углерода, образующегося от сжигания и сведения лесов [41]. Это количество углерода добавляется к 2 Ггт, поглощаемым в океанах, и к 2 Ггт, которые удерживаются наземной биотой; следовательно, в атмосферу ежегодно поступает дополнительно около 3 Ггт углерода. Это приращение количества CO_2 в атмосфере, являющееся частью общего антропогенного воздействия, называется атмосферной фракцией.

Количественные характеристики углеродного цикла несколько изменились тогда, когда началось сжигание ископаемых топлив, и с 1950-х гг., когда началась планомерная вырубка тропических лесов [42]. Таблица 1.2 обобщает выразительную статистику. Из данных анализа кернов льда известно, что в стабильной атмосфере в межледниковые периоды содержится около 280 ppm двуокиси углерода, что эквивалентно примерно 575 Ггт углерода. Для сравнения укажем, что это приблизительно соответствует количеству углерода, содержащемуся во всей живой растительности [43].

Таблица 1.2

*Некоторые количественные параметры углерода
в климатической системе (Ггт)*

CO_2 в атмосфере в настоящее время	750
CO_2 в атмосфере в «доиндустриальную» эпоху	575
Ежегодное поступление от сжигания ископаемого топлива в настоящее время	более 5
Ежегодное поступление от вырубки леса в настоящее время	2
Количество углерода в фитомассе (все растения)	560
Углерод в разведанных месторождениях каменного угля и нефти	4000
Углерод в ископаемом топливе, которое может быть добыто	5000—10000

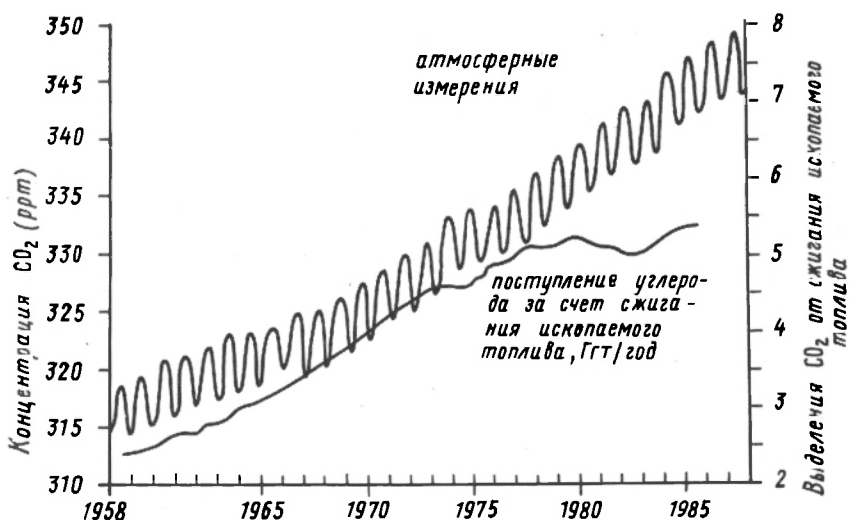


Рис. 1.4. Концентрация CO₂ в атмосфере (по изменениям на Мауна Лоа, Гавайи, начиная с 1958 г.). Нарастание происходит более или менее линейно. Заметим, что выделение CO₂ от сжигания ископаемого топлива увеличивалось с меньшей скоростью после подъема цен на нефть в начале 1970-х годов, тогда как концентрация CO₂ в атмосфере продолжала круто нарастать. Это могло быть вызвано увеличением вырубки тропических лесов или выделением двуокси углерода из почв, прогреваемых из-за сведения лесного покрова, или, возможно, убывающей способностью океанов извлекать CO₂ из атмосферы, или сочетанием различных факторов. Отметим также, что в приведенных данных отражаются сезонные изменения фотосинтеза и дыхания. (Источник: Д.А.Лашоф и Д.А.Тирпак (D.A.Tirpak) «Стратегия стабилизации глобального климата» Агентство по охране окружающей среды США, 1989 г.).

В настоящее время содержание двуокси углерода в атмосфере, измеренное в таких районах, как Гавайи, составляет 353 ppш (рис.1.4.), что эквивалентно 750 Гт углерода. Другими словами, начиная с 1860-х гг. человечество добавило в атмосферу около 175 Гт углерода. Большая его часть внесена, очевидно, за период с начала второй мировой войны. Рис. 1.5 иллюстрирует основную причину этого — сжигание ископаемого топлива. Со времен второй мировой войны мы узнали по опыту рост потребности в ископаемом топливе, который в среднем ежегодно превышает 5% [44].

Каким образом может еще человечество нарушить баланс углеродного цикла? Если скорость, с которой сжигается ископаемое топливо, будет продолжать увеличиваться, то в результате, за 200 лет с начала «индустриальной» эпохи, когда был дан старт их планомерному потреблению, человечество может добавить в атмосферу больше углерода, чем содержится во всей массе живых существ на планете (иными словами, углерод, содержащийся во всей массе живых организмов, составляет лишь малую долю от его содержания во всем растительном покрове планеты). Но это, в принципе, не исчерпывает нашей способности влиять на углеродный цикл. Запасы ископаемого топлива содержат

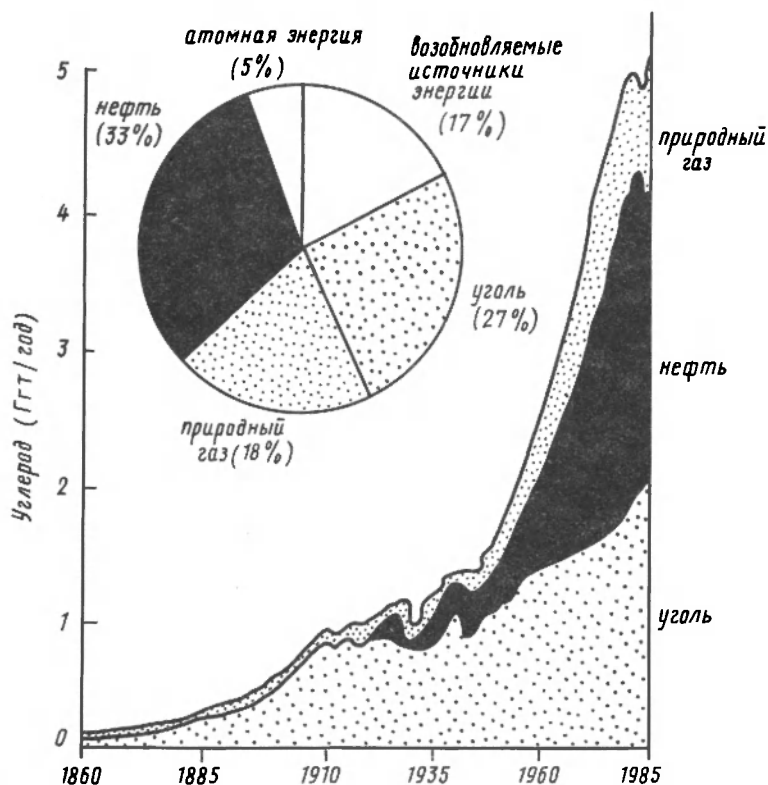


Рис.1.5. Рост потребления ископаемого топлива с начала технической революции и мировое потребление энергии в настоящее время. (Заметим, что доля возобновляемых источников энергии, по некоторым оценкам, возрастает в зависимости от того, как подсчитана биомасса в слаборазвитых странах).

от 5000 до 10000 ГГт углерода [45]. В разведанных месторождениях каменного угля и нефти содержится 4000 ГГт, из них в одном Китае находится 730 ГГт [46]. Ничто не может удержать человечество от их эксплуатации; действительно, существующие энергетические планы почти во всех странах предусматривают рост использования ископаемого топлива [47]. Например, в Китае к 2025 г. планируется использование такого количества каменного угля, которого будет достаточно для выделения в атмосферу 3 ГГт углерода — более половины современного мирового выброса углерода [48].

Если предположить, что в биоте и в океанах поглощается такая же часть атмосферной фракции углерода, то сжигание всех разведанных запасов каменного угля и нефти (4000 ГГт) увеличит содержание CO_2 в атмосфере до 2000 ГГт углерода. Это более чем в 3 раза превышает его содержание в атмосфере в настоящее время. Сказать точно, насколько это увеличит температуру на поверхности Земли, невозможно из-за

неопределенности реакции климата, что рассматривается в следующем разделе данной главы. Как было отмечено, температуры в эпоху динозавров (меловой период, от 140 до 66 млн лет назад) были на 10-15 град. С выше сегодняшних. Геохимики подсчитали, что это соответствует превышению содержания CO_2 в атмосфере в 4-8 раз по сравнению с наблюдаемым в наши дни [49].

Являются ли запасы ископаемого топлива единственным источником возможной дестабилизации углеродного цикла? Нет, здесь в действие вступают обратные связи.

1.5. Обратные связи и неопределенность в прогнозировании изменения климата

Выше уже говорилось о множестве взаимодействий между физическими и химическими процессами, протекающими в атмосфере, и между биосферой и остальными компонентами климатической системы. «Эти взаимодействия не учитываются ни одной существующей моделью» — писала группа американских специалистов по моделированию климата в мае 1989 г. в выпуске «Physics Today» («Физика сегодня»), — «и, возможно, от создания такой модели нас отделяют десятилетия. Между тем, мы столкнулись с необходимостью решать неблагоприятную задачу — оценить серьезность антропогенного влияния на климат при ограниченном знании климатической системы. Вопрос, однако, заключается не в том, является ли проблема серьезной, а в том, при каких уровнях концентрации парниковые газы будут вызывать беспрецедентное изменение климата» [50]. Именно так можно сформулировать проблему, которая лежит за множеством утверждений, сделанных учеными IPCC в их докладе. «Сложность системы такова, что мы не можем исключить неожиданности» — написали они в заключительном резюме [51]. При этом имелись в виду обратные связи в климатической системе. Ученые пришли к выводу, что, «хотя многие из процессов обратных связей плохо изучены, представляется вероятным, что в общем и целом они будут скорее увеличивать, чем уменьшать концентрации парниковых газов при глобальном потеплении» [52]. Другой вывод, который вытекает из этой неопределенности помимо столь «оптимистичных» предсказаний, состоит в следующем: «поскольку естественные источники и резервуары парниковых газов чувствительны к изменению климата, они могут существенно изменить будущие концентрации ... По этой причине, изменение климата, вероятно, должно быть большим, чем по нашим оценкам» [53].

Такая неопределенность, связанная с глобальным потеплением, является наиважнейшим аспектом научной дискуссии. В оставшейся части данной главы вкратце рассматривается каждая из обратных связей, описанных учеными IPCC в их отчете. Стефен Шнайдер, Дэвид Шимел (David Schimel) и Джордж Вудуэлл также обсуждают эти вопросы в последующих главах. Обратные связи перечислены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

*Основные обратные связи в парниковом эффекте.
(IPCC, Научная оценка изменений климата,
дополнительная информация из кн. Лашофа (Lashof)
«Изменение климата» 1989 г., том 14)*

	Знак «++» или «--»	Учитывается ли в МГЦ?	Комментарии (справки и подробности см. в тексте)
Водяные пары	+	да	Экспериментально продемонстрировано из космоса
Лед и снег	+	да	Изучены недостаточно хорошо
Облака	неиз- вестен	да	При современных условиях — ослабление парникового эффекта, при глобальном потеплении возможна наибольшая положительная обратная связь*/
Химия тропосферы	неиз- вестен	нет	Возможно усиление парникового эффекта; истощение гидроксила ОН
Аэрозольные частицы	неиз- вестен	нет	ДМС из фитопланктона
Температура океана	+	да	Главная неопределенность состоит в масштабе воздействия
Циркуляция в Мировом океане	+	в самых последних	Возможно, большая и очень быстрая
Скорости газообмена в океане	неиз- вестен	да	Вероятно, незначителен
Биогеохимическая циркуляция в океане	неиз- вестен	нет	Возможен «++»
Накопление двуокиси углерода	неиз- вестен	нет	Возможен «++» на короткий срок
Эвтрофикация токсификация	—	нет	Некоторые предлагают это в качестве технического решения
Температура и «дыхание» растений	+	в самых последних	Возможно, большое
Влажность почвы	оба	да	В зависимости от количества осадков и широты
Распределение растительности	неиз- вестен	нет	Возможен «++»
Альbedo растительности	+	в самых последних	Возможно, значительно в конце ледникового периода***
Ультрафиолетовое излучение и фитопланктон	+	нет	Главные неопределенности, возможно, велики
Ультрафиолетовое излучение и наземная биота	+	нет	Значение возрастает с увеличением наземного резервуара углерода
Рисовые поля	+	нет	Влажность почвы неизвестна****/
Болота	+	нет	Влияние, вероятно, незначительно****/
Метан в зоне вечной мерзлоты	+	нет	Уровень поверхности воды в будущем неизвестен****/
Органическое вещество в зоне вечной мерзлоты	+	нет	Величина зависит от температуры почвы
Гидроокиси метана в зоне вечной мерзлоты	+	нет	Возможно медленное, но значительное влияние через длительное время
Гидроокиси метана в открытом море	+	нет	Масштаб неизвестен, возможно, что он огромен

В столбце 2 указано, как влияет обратная связь на парниковый эффект: усиливает его («++») или ослабляет («--»). Столбец 3 показывает, учитываются ли обратные связи в климатических моделях. Заметим, что существует большое различие между МГЦ (крупномасштабные модели, реализуемые на мощных ЭВМ) и экспериментальными климатическими моделями меньшего масштаба. Столбец 3 относится к МГЦ.

*/Параметры облаков могут изменяться при глобальном потеплении. В докладе IPCC придается особое значение количеству облаков, их величине и содержанию воды, но возможно, что эти параметры слишком взаимосвязаны, чтобы рассматривать их как отдельные обратные связи.

**/Учитывалось в позднейших исследовательских моделях (моделях меньшего масштаба, чем МГЦ).

***Информация в этой строке таблицы основана на работе Лашофа и приведенных в ней ссылках.

****/Доклад IPCC оставляет открытым вопрос о знаке этих обратных связей. Положительный знак обоснован работой Лашофа и ссылками в ней.

1.5.1. Водяные пары

Нагретая атмосфера должна содержать больше водяных паров в результате увеличения скорости испарения. Водяной пар сам по себе является сильнодействующим парниковым газом. Следовательно, это положительная обратная связь, что недавно было продемонстрировано с помощью спутниковых измерений, проведенных в рамках программы ERBE (Эксперимент по изучению радиационного баланса Земли), показавших, что в современных условиях величина инфракрасного излучения (ИК), поглощенного в атмосфере, значительно возрастает с увеличением температуры морской поверхности. Ученые, моделирующие климат, воспроизвели эту обратную связь в МГЦ. Эмпирические данные, полученные Равалем (Raval) и Раманатаном (Ramanatan), согласуются с величиной обратной связи, предсказанной МГЦ до того, как были получены данные ERBE [54].

1.5.2. Лед и снег

При глобальном потеплении лед и снег в горных ледниках и в некоторых полярных областях будет таять. Это означает, что из-за меньшей, чем в настоящее время, площади блестящего льда поверхность прогретой Земли способна отразить меньшую часть падающего на нее излучения обратно в космос. Более темная поверхность поглощает больше лучей — это положительная обратная связь. Ученые, моделирующие климат, учитывают это в своих МГЦ. Хотя при моделировании климата этот процесс не вызывает сомнений, ученые IPCC заключили, что реальная ситуация является, возможно, более сложной и «необходимо более полно определить характер взаимодействия в механизме обратной связи» [55].

1.5.3. Облака

Облака занимают только десятую часть объема тропосферы [56], и всего лишь миллионную часть объема облаков занимает конденсированная вода. Тем не менее, изменения поверхности облачного покрова

и излучательной способности облаков создают, вероятно, наибольшую неопределенность в предсказании масштаба глобального потепления [57]. В результате изменений таких параметров, как количество, высота и содержание влаги, облака могут играть роль как положительной, так и отрицательной обратной связи для глобального потепления. Эксперимент ERBE показал, что в современном мире суммарное воздействие облаков приводит к охлаждению Земли. Но при глобальном потеплении ситуация может измениться. Например, чем больше облаков будет формироваться на больших (и более холодных) высотах, нежели в современном мире, тем меньше, как предсказывают некоторые МГЦ, будет их излучение, и поэтому они станут влиять на парниковый эффект как положительная обратная связь [58]. Такая же неопределенность имеет место в предсказаниях знака обратных связей, обусловленных изменением величины облаков и/или содержания в них воды [59].

Ученые, моделирующие климат, пытаются воспроизвести рассматриваемые обратные связи в своих моделях. В самом деле, незначительные изменения параметров облаков являются причиной того, что предсказания моделей, опубликованные к настоящему времени главными центрами моделирования климата, варьируют в пределах двукратного удвоения значения температур. Например, недавний расчет, выполненный на модели Метеорологической службы Великобритании, предсказал падение температуры в пределах от 5,5 до 1,9 град.С из-за изменений в способе описания (параметризации) облаков в модели. По мнению авторов, однако, «хотя проверочный способ описания облаков более детален, он не обязательно дает более точные результаты, чем менее сложный» [60]. Согласно этому предсказанию, при удвоении концентрации двуокиси углерода средняя глобальная температура должна падать, однако другие предсказывают ее повышение [61]. Стефен Шнайдер рассматривает этот аспект моделирования климата ниже в своей главе.

1.5.4. Химия тропосферы

Химия тропосферы включает в себя сложное переплетение химических обратных связей, но наибольшее внимание привлекают реакции, вызываемые гидроксильным радикалом ОН. Гидроксил является «очищающим агентом» атмосферы. Это химический реагент, который окисляет такие газы, как метан, окись углерода, окислы азота и не содержащие метана углеводороды, гидрохлорфторуглероды и гидрофторуглероды. Прогретой Земле свойственна более высокая влажность и, следовательно, в ее атмосфере возможно образование большего количества ОН. Но в то же время, в результате увеличения выбросов, которые окисляет гидроксил, будет иметь место сильный отток ОН. Какой из этих факторов будет преобладать? Ученые расходятся

во мнениях, а исследователи, работающие с климатическими моделями, не пытаются подвести общий итог исследований своих моделей. Например, Хамид (Nameed) и Цесс (Cess) утверждают, что результатом будет небольшая отрицательная обратная связь [62]. С другой стороны, Раманатан и др. и Лашоф доказывают, что обратная связь будет положительной [63].

Неопределенности здесь огромны, и значение этого вопроса очень велико. Естественное количество гидроксила в атмосфере незначительно [64], и при резком сокращении содержания ОН атмосфера будет являть собой среду, в которой время существования важнейших парниковых газов — метана, гидрохлорфторуглеродов и гидрофторуглеродов — возрастет; следовательно, увеличится и возможность глобального потепления. Это такая атмосфера, в которой окись углерода, окислы азота и не содержащие метана углеводороды будут образовываться из-за недостатка ОН. Химические реакции между этими газами в присутствии солнечного света приводят к появлению еще одного парникового газа — тропосферного озона [65].

1.5.5. Аэрозольные частицы

Антропогенные выбросы серы, которые возрастали в Северном полушарии в течение последнего столетия в результате сжигания ископаемого топлива, образуют аэрозоли, влияющие на оптические свойства облаков, что вызывает охлаждение Земли. Следовательно, это отрицательная обратная связь, созданная человеком. О величине этого воздействия трудно судить, но можно предполагать, что оно сравнимо с парниковым эффектом, по крайней мере, в нашем столетии (хотя и с противоположным знаком) [66]. Другими словами, если бы не серные выбросы, то наблюдаемое увеличение средней глобальной температуры от 0,3 до 0,6 град.С [67], возможно, было бы в два раза большим.

В будущем естественные обратные связи могут увеличиваться из-за аэрозолей. Это обусловлено тем, что фитопланктон (микроскопические морские водоросли на водной поверхности океана) выделяет диметилсульфид — газ, вызывающий образование центров конденсации облаков. Можно ожидать, что увеличение концентрации фитопланктона вызовет рост концентрации диметилсульфида и, следовательно, увеличение облачности. Однако знак обратной связи при глобальном потеплении, а также ее величина остаются неизвестными.

Отрицательное влияние на климат антропогенных выбросов серы следует рассматривать не как возможный вклад в ослабление глобального потепления, а как часть проблемы. Действительно, выбросы двуокиси серы (сернистого ангидрида), которые вызывают образование

центров конденсации облаков, увеличивающих обратную связь, способствуют в то же время процессу увеличения содержания аэрозольных частиц кислоты в атмосфере. Учитывая большое значение наземной биоты как резервуара для двуокиси углерода (этот вопрос рассматривается более подробно ниже), следует иметь в виду, что повреждение лесных экосистем в результате выпадения кислотных дождей фактически подвергает опасности важный естественный резервуар в углеродном цикле. Этот фактор может увеличить содержание двуокиси углерода в атмосфере.

1.5.6. Температура океана

Общий поток двуокиси углерода между атмосферой и водной поверхностью океанов управляется разностью парциального давления CO_2 по обе стороны морской поверхности [68]. Когда температура морской воды растет, растворимость CO_2 уменьшается и парциальное давление CO_2 на водной поверхности океана увеличивается. При этом уменьшается поглощение CO_2 морской водой, т.е. возникает положительная обратная связь [69]. Общепринято оценивать суммарные антропогенные выбросы CO_2 в современном мире; примерно четверть суммарной величины, по-видимому, потребляется наземной биотой (посредством фотосинтеза) и четверть поглощается в океане, участвуя как в химических (диффузии), так и в биологических процессах (фотосинтезе, осуществляемом фитопланктоном) [70]. Следовательно, важный резервуар главного парникового газа при увеличении температуры морской поверхности будет истощаться.

Как будет увеличиваться содержание CO_2 в атмосфере в будущем? Лашоф считает, что рост CO_2 составит 5% [71], но в этом вопросе остается значительная неопределенность. Совет по изучению окружающей среды Великобритании ассигновал значительные средства на исследование этой проблемы, а также на изучение влияния температуры на биологическую продуктивность океанов в рамках его Программы по изучению биогеохимических океанских потоков (BOFS) [72]. Вопрос, связанный с этими неопределенностями, имеет колоссальное значение; действительно, океаны являются гигантским резервуаром для CO_2 , поскольку они содержат CO_2 в 50 раз больше, чем атмосфера, и в 20 раз больше, чем биосфера. По выражению Таро Такахаси (Taro Takahashi), «уникальной особенностью океанов является большая масса воды, на глубине сильно перенасыщенная CO_2 (т.е. не способная поглотить CO_2 больше, чем в ней уже содержится), с тонким слоем теплой и менее плотной воды, который препятствует быстрому переносу двуокиси углерода из глубинного водного резервуара в атмосферу» [73].

1.5.7. Циркуляция в Мировом океане

Кроме температуры и растворимости CO_2 в морской воде способность океана удерживать CO_2 регулируется двумя другими факторами. Первый — это существование «биологического насоса», посредством которого CO_2 переносится с поверхности воды на большую глубину в потоке органических остатков, включающем в себя мертвые микроорганизмы, продукты жизнедеятельности организмов и т.п. Этот процесс будет рассмотрен ниже. Второй фактор — скорость и характер циркуляции воды в океане [74].

Циркуляция водных масс в океанах сложна и управляется климатической системой. Следовательно, когда изменяется климат, вероятно, соответственно изменяется и циркуляция в океанах. Когда температура морской поверхности растет, термоклин (слой океана, находящийся непосредственно под постоянно перемешивающимся слоем) может стать более стабильным и стойким по отношению к вертикальному перемешиванию воды. Поглощение CO_2 зависит от этого перемешивания, поскольку продуктивность фитопланктона ограничена притоком более глубокой воды, богатой питательными веществами. По заключению ученых IPCC, результирующий эффект заключается в том, что поглощение антропогенного CO_2 , вероятно, должно замедлиться [75]. Эта возможная обратная связь широко известна как «планктонный усилитель».

При работе с моделями климата такие изменения очень трудно, практически невозможно определить количественно, но геологические данные говорят о потеплении, которое может быть внезапным и резким. Изучение состава пузырьков воздуха, заключенных во льдах Гренландии, показывает, что во время перехода от последнего ледникового периода к современному межледниковому, более 10 тыс. лет назад, очень заметные изменения концентрации атмосферного CO_2 (порядка 50 ppш, или 20% от общего содержания CO_2 в воздухе), вероятно, произошли быстрее, чем за столетие, параллельно с региональными температурными изменениями порядка 5 град.С [76]. Ученые IPCC и другие утверждают, что, по-видимому, это было вызвано изменениями широкомасштабных течений в северо-атлантическом регионе [77].

1.5.8. Ветер и скорости газообмена в океане

Перенос газа между морской поверхностью и атмосферой и наоборот зависит от турбулентности поверхностного слоя океана и, следовательно, от скорости ветра над ним [78]. При глобальном потеплении изменение климата будет включать в себя изменение характера ветра. При большей скорости ветра скорость перемещения двуокиси углерода будет большей. Ученые IPCC пришли к выводу, что

при определении результирующего поглощения двуокиси углерода в Мировом океане вертикальное перемешивание является более важным, чем газообмен, так что данная обратная связь, вероятно, незначительна [79].

1.5.9. Изменения биогеохимической циркуляции в океане

Специалисты IPCC высказывают опасение, что существующий в современных океанах баланс «биологического насоса» при прогревании может быть нарушен. В настоящее время поток органических остатков (и, следовательно, питательных веществ) с поверхности воды уравнивается направленным вверх переносом углерода и питательных веществ в тех областях океана, где имеются восходящие потоки воды. К таким областям относятся полярные районы и зоны, расположенные вдоль восточных берегов главных океанических бассейнов. Как отмечено в докладе IPCC, «баланс может быть нарушен в результате изменения динамики океанов, что может повлиять на содержание двуокиси углерода в атмосфере. Однако в настоящее время невозможно предсказать направление и величину таких воздействий» [80].

1.5.10. Накопление двуокиси углерода

По результатам кратковременных экспериментов, проводимых в лабораторных условиях, установлено, что повышение содержания CO_2 в атмосфере вызывает увеличение скоростей фотосинтеза и роста большинства растений. Этот факт широко известен, и на него часто ссылаются. Однако если это предположение отнести к естественным экосистемам, то с ростом концентрации CO_2 в атмосфере в будущем результате должна быть значительная отрицательная обратная связь в глобальном потеплении. Особенно важную роль будут играть леса, если их биомасса увеличится в объеме, поскольку около двух третей всего фотосинтеза осуществляется лесами [81]. Однако реальный мир отличается от парника. Лашоф рассчитал, что удвоение концентрации двуокиси углерода приведет к увеличению глобальной биомассы более чем на 15%. Однако, по мнению ученых IPCC, «неясно, будут ли увеличение фотосинтеза и рост объема биомассы продолжаться дольше, чем в течение нескольких способствующих росту сезонов, произойдут ли они вообще в естественных условиях и в какой мере это приведет к увеличению накопления углерода в реальных наземных экосистемах» [82].

Эти неопределенности вызовут еще большее беспокойство, если подтвердятся результаты недавней работы Такахаси, Танза (Tans) и

др. Как мы видели [83], измеренное результирующее накопление углерода в сегодняшней атмосфере из всего объема CO_2 (ископаемое топливо и вырубка леса) составляет около 2 Ггт. Сжигание ископаемого топлива вызывает выделение 5,7 Ггт углерода [84]. Такахаси и его коллеги подсчитали, что биота Северного полушария может поглотить ежегодно от 2 до 3 Ггт углерода. Другими словами, если они правы, значительная часть всей двуокиси углерода, выделяемой в результате сжигания ископаемого топлива и вырубки лесов, в настоящее время поглощается в лесах Северного полушария [85]. Такахаси подсчитал, что только около 1,6 Ггт углерода ежегодно попадает в океанские резервуары [86]. В таком случае, эти леса, возможно, уже реагируют на углеродное удобрение от выделений двуокиси углерода с начала технической революции. Следовательно, хорошее состояние лесов в будущем является все более важным. Принимая во внимание возрастающую кислотность атмосферы в современном мире в сочетании с дополнительным влиянием, оказываемым другими загрязняющими веществами, а также непредсказуемые изменения почвы и воды, связанные с глобальным потеплением, мы не можем быть уверенными в будущем благополучии лесов.

I.5.II. Эвтрофикация и токсификация

Применение в сельском хозяйстве азотных удобрений является причиной выделения парникового газа — окиси азота. Кроме того, азотные удобрения вносят свой вклад в отрицательную обратную связь в парниковом эффекте [87]. После внесения в почву минеральных удобрений нитраты попадают в реки, озера и моря, где они способствуют эвтрофикации — застою воды, сопровождающемуся бурным ростом морских водорослей. В последнее время примером пристального внимания ученых стали экологические аспекты этой проблемы, т.к. наблюдалось множество необычных явлений, связанных с водорослями, в озерах и морях [88]. По мнению одного из ученых, изложенному в докладе ИРСС, процесс эвтрофикации в океанах и на суше мог бы стимулировать возникновение объема новой биомассы, эквивалентного 1 Ггт углерода ежегодно [89]. Были выдвинуты предложения по искусственной стимуляции фитопланктона в открытом океане путем внесения в него недостающих питательных веществ. По замыслу специалистов, это должно способствовать фотосинтезу как средству для искусственного увеличения океанского резервуара двуокиси углерода. Но такое техническое решение связано с риском возникновения разновидностей токсичных морских водорослей, например наблюдавшихся в последние годы в Северном море в большем, чем обычно, количестве. Во всяком случае, оно поднимает множество юридических проблем.

1.5.12. Температура и «дыхание» наземной растительности

При увеличении температуры увеличиваются также темпы фотосинтеза и выделение углерода растениями и микробами. Однако выделение растет быстрее, чем фотосинтез. При потеплении это создаст значительную положительную обратную связь [90]. В настоящее время эти процессы находятся в приблизительном равновесии: ежегодное потребление углерода наземной биотой оценивается в 102 Ггт, тогда как выделение углерода биотой составляет примерно 50 Ггт, а выделение углерода за счет разложения органических веществ в почве оценивается примерно в 50 Ггт [91]. Подсчитано, что дополнительный приток углерода в атмосферу вследствие этой обратной связи может увеличиться. По оценкам Вудуэлла, при росте температуры на 4 град.С это увеличение, возможно, будет весьма значительным — от 3 до 10 Ггт ежегодно [92]. Лашоф подвергает эту оценку сомнению, поскольку в ней не учитываются различия между неустойчивыми (легко разлагаемыми) и устойчивыми углеродными соединениями, но он сам оценил ежегодный приток углерода в 0,5 Ггт [93], что составляет около 10% ежегодного поступления от сжигания ископаемого топлива.

1.5.13. Влажность почвы

Изменения содержания воды в почве могут, очевидно, влиять на накопление и сохранение углерода в наземной биоте. Увеличение влажности приводит к возрастанию накопления углерода в тропосфере и способствует росту растений в ранее сухих зонах. Однако обратное утверждение также верно, а так как модели сильно расходятся в своих предсказаниях изменений влажности почвы, ученые IPCC заключили, что «невозможно достоверно предсказать как географическое распределение изменений в почвенных водах, так и влияние этих изменений на потоки углерода и его накопление в разных экосистемах» [94].

1.5.14. Распределение растительности

1.5.14.1. Резервуары двуокиси углерода. Здоровье лесов — живого резервуара двуокиси углерода — будет существенно зависеть от скорости изменения температуры. Если леса смогут мигрировать и адаптироваться, резервуар останется прежним. Если же темпы изменения температуры будут слишком быстрыми для успешной миграции и/или препятствия, создаваемые урбанизацией и хозяйственной деятельностью, окажутся непреодолимыми, леса пострадают и резервуар сократится. В докладе IPCC оговаривается это мнение [95], однако Брайан Хантли (Brian Huntley) и другие авторы, исходя из того, что расти-

тельность ответственна за рост температуры на 5 град.С в конце ледникового периода, утверждают, что даже при самых благоприятных температурах изменений леса пострадают. Оверпек (Overpeck) и др. также придерживаются мнения, что глобальное потепление будет способствовать увеличению скорости повреждения лесов (пожары, штормы и наводнения), способного существенно изменить объем общей биомассы и, следовательно, результирующей реакцией лесов на потепление будет сокращение резервуара углерода [96].

I.5.I4.2. Альbedo. Изменения в наземной биоте будут также влиять на общее альbedo планеты. Лашоф полагает, что это «возможно, наиболее значительная обратная связь, создаваемая наземной биосферой» [97]. Самый важный процесс — уменьшение альbedo (положительная обратная связь) в результате смещения к полюсу северной границы лесотундры. Это обстоятельство могло значительно усилить изменение температуры в конце последнего ледникового периода [98].

I.5.I5. Ультрафиолетовое излучение

I.5.I5.I. Влияние на фитопланктон. Известно, что увеличение интенсивности ультрафиолетового излучения, поступающего на земную поверхность, является результатом истощения стратосферного озона. Ученые IPCC утверждают, что «из-за уменьшения продуктивности морей это может оказывать негативное влияние на морскую биоту и тем самым на биологический «углеродный насос» [99]. Это приведет к увеличению концентрации двуокиси углерода на водной поверхности и, следовательно, в атмосфере. Внимание к этой проблеме привлекли и другие исследования, поскольку это не просто положительная обратная связь, но серьезная угроза сохранности мировых пищевых запасов [100].

I.5.I5.2. Влияние на наземную биоту. Аналогичные соображения применимы и к возрастающему облучению ультрафиолетом наземной биоты. Экспериментальные исследования показали, что этому неблагоприятному воздействию подверглись сельскохозяйственные культуры. В связи с этим ученые IPCC пришли к заключению, что рассматриваемая ситуация может затронуть стабильность биосферного резервуара двуокиси углерода на всей суше. Следует отметить, что Монреальский протокол, задуманный для ограничения производства фреонов, являющихся причиной большинства «озоновых дыр» в стратосфере, не принесет заметного смягчения остроты этой проблемы. Это объясняется большим временем существования главных «озоновых дыр» и тем фактом, что упомянутый Протокол в исправленном виде разрешает производство в течение ближайших 10 лет таких веществ и их заменителей, которые также истощают стратосферный озон.

1.5.16. Тропические источники метана

1.5.16.1. Рисовые поля. Плантации риса ежегодно производят около 110 млн тонн метана, что составляет около 20% всех его антропогенных выбросов [101]. По способности вызывать глобальное потепление метан в 63 раза за период 20 лет превосходит двуокись углерода, т.е. 1 кг метана за этот период в 63 раза превысит эффект глобального потепления от 1 кг двуокиси углерода [102]. Поскольку образование метана за счет рисовых полей существенно зависит от температуры и влажности почвы (увеличение этих параметров увеличивает выделение CH_4), следует признать, что это непростая проблема. Это подтверждается поразительно немногочисленными измерениями, проведенными непосредственно на рисовых полях по всему миру и большим разбросом полученных данных [103]. Специалисты IPCC не высказали своего мнения о том, будут ли потоки метана увеличиваться или уменьшаться при глобальном потеплении [104], но Лашоф, сделавший свою оценку на основании доступных данных, утверждает, что поступление метана с рисовых полей будет возрастать более чем на 30 млн тонн ежегодно [105].

1.5.16.2. Болота. Болота всей планеты выделяют ежегодно около 115 млн тонн метана. Ученые IPCC согласны с последними оценками, которые меняют местами относительное значение тропических и высокоширотных источников: они относят 55 млн тонн на счет тропических болот и 39 млн тонн — на счет болот высоких широт. Они не предлагают объяснения тому, каким образом изменения влажности почвы могут управлять соответствующей обратной связью [106]. По данным Лашофа, болота низких широт вносят меньший вклад в рассматриваемую обратную связь, т.к. они содержат ограниченное количество углерода [107].

1.5.17. Источники метана в высоких широтах

1.5.17.1. Метан в зоне вечной мерзлоты. В равнинной тундре на образование метана в почве существенно влияет уровень водной поверхности. Как отмечают ученые IPCC, изменение уровня всего лишь на несколько сантиметров может иметь большое значение, т.к. залитые водой почвы могут производить в 100 раз больше метана, чем сухие [108]. Следовательно, в результате прогревания и увлажнения почвы выделение метана возрастает. Однако прогретые осушенные почвы выделяют меньшее количество метана. Авторы доклада IPCC не высказывают своего мнения о знаке этой обратной связи [109]. Лашоф доказывает, что можно ожидать увеличения выделения CH_4 на высоких широтах в результате оттаивания грунтов в тундре, т.к. для земли, замерзающей ежегодно на меньшее время, «сезон выделения» будет более продолжительным [110]. Юэн Нисбетт (Ewan

Nisbett) в пространном обзоре, посвященном образованию метана в северных широтах, также убедительно высказывается в пользу положительной обратной связи от влажных почв [111].

1.5.17.2. Органическое вещество в зоне вечной мерзлоты. Другая активная положительная обратная связь за счет выделения метана на высоких широтах обусловлена тем фактом, что в слое вечной мерзлоты имеется избыток замороженного органического вещества, способного разлагаться. По наблюдениям ученых IPCC, на этих широтах «выделение метана значительно больше при более высоких температурах благодаря ускоренному микробиологическому разложению органического вещества» [112]. Следует иметь в виду, что даже удвоение температур, предсказанное климатическими моделями, будет означать повышение температуры воздуха в Арктике до 15 град.С [113]. Если вступят в действие какие-либо другие обратные связи, рассмотренные в данной главе, без компенсации отрицательными обратными связями, рост температур будет еще более значительным.

1.5.17.3. Гидроокиси метана в зоне вечной мерзлоты. Гидроокиси метана — твердые вещества, представляющие собой соединение кристаллов воды и поглощенного под давлением газообразного метана [114], залегают ниже слоя вечной мерзлоты и в далеких от берегов зонах Арктики. Запас метана в гидроокисях огромен и очень плохо оценен количественно. Нижняя граница опубликованных оценок лежит вблизи 10000 Ггт, из которых 400 Ггт, возможно, находятся под слоем вечной мерзлоты [115]. Этот резервуар больше чем на порядок превышает все содержание углерода в атмосферной двуокиси углерода (750 Ггт) и во всей живой материи на Земле (по одной оценке, около 760 Ггт) [116]. Однако опубликованные оценки глобального запаса гидроокиси метана варьируют в пределах трех порядков выше 10000 Ггт [117].

Мнения ученых, которые изучали эту потенциально огромную обратную связь, влияющую на парниковый эффект, расходятся. Поскольку поверхность слоя гидроокиси лежит ниже слоя вечной мерзлоты более чем на 100 м, возможно, что в течение многих десятилетий выбросы будут неощутимыми, т.к. температурная волна от нагретой поверхности Арктики будет проникать в землю очень медленно. Кейт Квенволден (Keith Kvenvolden), на которого ссылаются ученые IPCC в одном из разделов своего доклада, высказал оптимистичное мнение, согласно которому приток метана от разложения гидроокиси в пределах столетия не будет превышать 100 млн тонн ежегодно. Учитывая, однако, продолжающиеся выбросы парниковых газов антропогенными и/или естественными источниками, инициированные положительными обратными связями, можно предположить на более долгий срок, что предела этому процессу не существует. Гордон Мак Дональд (Gordon MacDonald) [118] и Юэн Нисбетт [119] убеждены, что широкомасштабное разложение гидроокиси метана играло доминирующую роль в механизме, который повлиял на завершение ледникового периода. Нисбетт считает, что в эпоху потепления при аналогичном современ-

ному подходе в промышленности к выбросам парниковых газов «опасность от стремительного роста температуры, вызванного выделениями метана из слоя вечной мерзлоты незначительна, но в действительности... Если имеется только один шанс из ста, что такое явление может произойти, социальные последствия будут очень серьезными» [120]. Его утверждение основано на том, что увеличение температуры поверхности может передаваться гидроокиси не за счет простой (и медленной) проводимости, а путем более быстрого процесса конвекции через трещины. Это вызовет эпизодические выбросы метана [121]. Такие выбросы уже наблюдались в советской Арктике в зонах, отдаленных от берегов [122].

1.5.17.4. Гидроокиси метана в открытом море. В соответствии с данными глубоководных исследований, гидроокиси наблюдаются повсеместно на глубинах более 200–500 м. Поскольку высокое давление способствует тому, что вода в гидроокисях содержится в кристаллическом состоянии, гидроокиси чаще встречаются ближе к поверхности осадочных пород, чем на суше под слоем вечной мерзлоты. На указанных глубинах в Северном Ледовитом океане гидроокись устойчива на дне или вблизи него. По мнению Нисбетта, «любое легкое прогревание воды в Арктике почти немедленно вызовет выделение гидроокиси с морского дна. Изменение температуры на несколько градусов освободит метан из верхнего слоя морских отложений на этой глубине в течение нескольких лет» [123].

Количество гидроокиси, которое может быть дестабилизировано таким образом, неизвестно. Хотя оно составляет только небольшую часть всего глобального запаса, нет никаких сомнений в его огромной величине. Протяженность зоны, которой коснется потепление арктических вод на больших глубинах, также неизвестна. Неопределенности здесь очень велики, а последствия, возможно, больше, чем при любой другой потенциальной обратной связи.

1.6. Необходимость сокращения выбросов парниковых газов

Ученые IPCC рассматривают несколько возможных вариантов состава и количества выбросов парниковых газов в атмосферу в течение грядущих десятилетий. Сделаны два важных заключения. Первое учитывает тот факт, что атмосферные концентрации CO_2 , окиси азота и фреонов реагируют очень медленно на изменения выбросов. Вот почему эти газы имеют относительно большие сроки существования в атмосфере. Из-за медленного установления атмосферных концентраций продолжение выбросов этих газов в количествах, близких к существующим в настоящее время, приведет к увеличению концентраций за период от десятилетий до столетий. Это будет сопровождаться увеличением взаимодействия с излучением и — как следствие — гло-

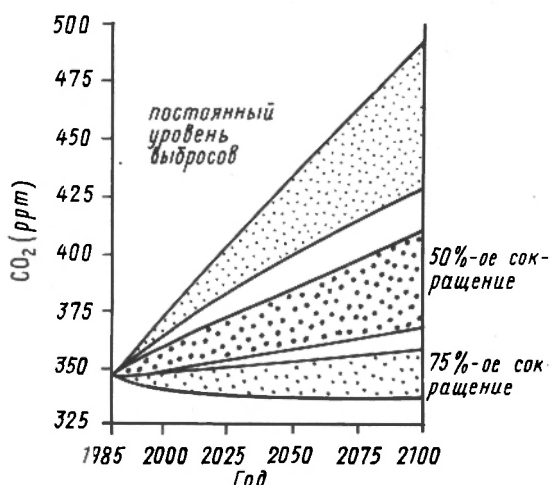


Рис.1.6. Влияние на концентрации CO_2 в атмосфере глобального сокращения выделений двуокиси углерода на 50% и на 75% по сравнению с постоянными выбросами (на уровне 1985 г. — 5,9 млрд тонн углерода ежегодно). Разброс значений обусловлен выбором двух различных моделей океанического CO_2 . (Источник: Д.А.Лашоф и Д.А.Тирпак «Стратегия стабилизации глобального климата» ЕРА (Агентство по охране окружающей среды США), 1989 г.).

бальным потеплением. Авторы доклада IPCC сделали логический вывод: «чем дольше будут продолжать расти выбросы (в сегодняшнем темпе), тем большее их сокращение будет необходимо для стабилизации концентраций на заданном уровне. Если определены критические уровни концентрации, превышение которых недопустимо, тогда, чем раньше будет осуществлено сокращение выбросов, тем оно будет более эффективно» [124]. Ученые IPCC и другие специалисты, которые участвовали в недавнем исследовании для Агентства по охране окружающей среды США [125], подсчитали, что необходимо потребовать стабилизации концентраций долгоживущих парниковых газов на уровнях, существующих в атмосфере в настоящее время. Для CO_2 это означает немедленное сокращение более чем на 60% (табл. 1.4, рис. 1.6).

Таблица 1.4
Величины сокращения выбросов,
необходимого для стабилизации парниковых газов
на уровнях, существующих в атмосфере в настоящее время

Парниковый газ	Сокращение по оценкам IPCC, (%)	Сокращение по оценкам ЕРА (%) (Агентство по охране окружающей среды, США)
CO_2	>60	50-80
CH_4	15-20	10-20
N_2O	70-80	80-85
ХФУ-11	70-75	75-100
ХФУ-12	75-85	70-100
ХФУ-22	40-50	—

Глава 2

НАУКА О МОДЕЛИРОВАНИИ КЛИМАТА И ОБСУЖДЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Стефен Шнайдер (Stephen Schneider)

«...Во многих критических статьях на эту тему почему-то не учитывается важность того факта, что «меч неопределенности» имеет два «острых края» а именно: из-за неопределенностей физических или биологических процессов современные модели могут привести к переоценке эффектов будущего потепления климата, или, с такой же вероятностью — к их недооценке...»

Земной климат меняется. В настоящее время он значительно отличается от того, каким он был 100 млн лет тому назад, когда на планете господствовали динозавры, а тропическая растительность пышно цвела вплоть до очень высоких широт; он отличается даже от климата 18000-летней давности, когда ледниками уже была покрыта значительная часть Северного полушария. Несомненно, эти изменения будут продолжаться в будущем. Частично эта эволюция будет обусловлена природными явлениями, такими, как медленно протекающий в течение многих тысячелетий процесс изменения земной орбиты. Однако в дальнейшем, возможно, не менее важным фактором, влияющим на климат, будет человеческая деятельность. Уже сейчас мы можем ощущать изменения климата, вызванные загрязнением природной атмосферы такими газами, как, например, двуокись углерода.

В среде ученых естествоиспытателей, хорошо знакомых с этой проблемой, не все согласны с утверждением, что современные тенден-

ции изменения климата могут быть отчасти обусловлены человеческой деятельностью. Но есть и такие исследователи, хотя, может быть, их не так много, которые считают, что человеческая деятельность в настоящее время может вызвать беспрецедентные климатические изменения уже в двадцать первом веке. Информация о происходивших между учеными дебатах по этому вопросу, зачастую на уровне шумных, запутанных споров с упреками и обвинениями в адрес друг друга, получила широкую огласку. Она публиковалась на страницах редакционных статей специальной литературы, на обложках журналов широкого профиля и в газетах. В результате общественность отнеслась очень скептически к утверждению о том, что существует серьезная угроза беспрецедентного глобального потепления через несколько десятилетий, так как по этому вопросу ученые экологи не смогли прийти к единому мнению. Таким образом, ученым IPCC (Межправительственная группа экспертов по проблемам изменения климата) [1], заявившим в отчете о своем согласии по этому вопросу, придется приложить много усилий, чтобы убедить общественность в необходимости принятия мер, предотвращающих дальнейший рост концентрации парниковых газов в атмосфере.

Однако широкая публика, как правило, не знакомится с материалами экспертизы IPCC объемом в 300 страниц, написанных в самых разных стилях несколькими десятками специалистов из множества стран. Более того, такие организации, как IPCC, редко вступают в публичные прения со своими критиками даже в тех случаях, когда эти критики с успехом обращаются к общественному мнению, что зачастую приводит к полной неразберихе в умах, а не проливает свет на решение такой сложной проблемы, как изменение климата. В связи с этим ниже предлагается как дополнение к отчету IPCC обзор различных точек зрения, высказываемых учеными в настоящее время о причинах и экологических последствиях глобального потепления. Наша задача — сделать проблемы глобального потепления более доступными для широкой аудитории и задать определенную направленность привлекающим всеобщее внимание, однако зачастую очень острым дискуссиям в прессе, чтобы избежать путаницы, как это уже было в 1989 и 1990 гг. Мы начнем обзор с главного инструмента, применяемого в настоящее время для предсказания изменений климата в будущем: климатических моделей [3].

2.1. Для чего нужны модели?

Для предсказания последствий какого-либо события в природе обычно обращаются к эксперименту, проводимому по составленной для этой цели программе. Однако как быть в том случае, если проблема чрезвычайно сложна или масштаб эксперимента слишком велик?

Как раз подобная дилемма возникает при определении влияния на климат антропогенного загрязнения окружающей среды, так как в настоящее время такой неуправляемый эксперимент проводится в лаборатории под названием «Планета Земля». Возникает вопрос, как можно предсказать последствия этих процессов, если нет возможности поставить разумный физический эксперимент? В этом случае мы можем прибегнуть к имитации лаборатории, которая представляет собой не комнату, наполненную колбами и горелками, а небольшую коробочку с транзисторами и микросхемами. Мы можем построить математические модели Земли и провести наши «эксперименты» с помощью ЭВМ.

Математические модели переводят концептуальные идеи в количественные утверждения. Диапазон математических моделей очень широк: от имитирующих во всех деталях всего один или два процесса, до крупномасштабных моделей, имитирующих одновременно множество процессов. Конечно, такие модели не очень надежно отражают реальность во всей ее сложности, но они позволяют сделать логический вывод о последствиях, исходя из приемлемых допущений, заложенных в математическую задачу, моделирующую эти процессы. С нашей точки зрения, моделирование является существенным шагом вперед по сравнению с голой концептуальностью, или, иными словами, оно обладает безусловным преимуществом перед прогнозами «на кофейной гуще» в отношении глобального потепления.

Проблемы, которые можно изучать с помощью климатических моделей, включают в себя влияние температурных аномалий в океане на нижние слои атмосферы (например, так называемые явления «Эль-Ниньо»); влияние извержений вулканов на климат; порядок чередования ледниковых и межледниковых периодов; изучение палеоклиматов; воздействие на климат антропогенного загрязнения окружающей среды, в том числе двуокисью углерода (CO_2); и даже характер изменения климата вследствие ядерной войны. Далее приводятся несколько примеров решения упомянутых проблем.

2.2. Основные элементы моделей

Для моделирования климата разработчику модели необходимо решить, какие компоненты климатической системы включить и какими переменными их описывать. Например, если мы хотим моделировать долгосрочное чередование ледниковых и межледниковых периодов, то в нашу модель необходимо, по возможности, включить влияние всех важных взаимодействующих между собой компонентов климатической системы, действующих на протяжении последнего миллиона лет или около того. Кроме атмосферы, к ним относятся ледниковые массивы, глубинные и верхние слои океанов, верти-

кальные колебательные движения земной коры. Даже живые организмы влияют на климат, и их также надо отнести к элементам климатической системы; растения, например, могут влиять на химический состав воздуха и морей так же, как и на их отражательную способность (альбедо) или круговорот воды на суше. Эти взаимодействия между собой подсистемы образуют часть внутренних компонентов модели.

С другой стороны, если нас интересует разработка модели, предназначенной только для прогнозирования погоды на очень короткий промежуток времени, например на одну неделю, то в этом случае модель может не учитывать каких бы то ни было изменений в ледниках, глубинных зонах океанов, формах рельефа и лесах, так как очевидно, что эти компоненты изменятся незначительно на протяжении недели. При рассмотрении изменения погодных условий в пределах недели в качестве компонента внутренней климатической системы необходимо включить в модель только саму атмосферу.

Медленно изменяющиеся факторы, такие, как океаны или ледники, называют внешними по отношению к внутренней части моделируемой климатической системы. Разработчики моделей также вводят внешние факторы как граничные (предельные) условия, так как они формируют границы для внутренних элементов модели. Эти границы не всегда являются физическими, как, например, граница между атмосферой и океаном, но через эти границы могут быть заданы потоки массы, импульса, энергии. Примером служит солнечное излучение, падающее на Землю. Зачастую при построении климатической модели солнечное излучение относят к внешнему фактору, так как, с одной стороны, поток солнечной энергии не является взаимодействующим, внутренним компонентом модели, а с другой — энергия, излучаемая Солнцем, воздействует на климат, определяя его температурный режим.

Мы можем ограничить задачу, поставленную перед моделью, предсказанием только глобально усредненной температуры, не меняющейся во времени (то есть, находящейся в состоянии равновесия). Такая очень простая модель состояла бы из внутренней части, которая при усреднении по всей атмосфере, океанам, биосфере и ледникам могла выдать данные по двум параметрам: средней отражательной способности Земли и средней величине парникового эффекта. Граничным условием для этой модели было бы только количество поступающей солнечной энергии. Такая модель называется моделью с нулевой размерностью, так как она «сжимает» натуральные размеры земного пространства по осям восток-запад, север-юг и вверх-вниз в одну точку, представляющую среднее значение земной температуры, одинаковое для всех мест. Эта модель также сводит все трехмерные процессы к одному глобально усредненному, что в некоторых случаях, таких,

например, как перенос тепла ветром, ведет к потере информации о самом процессе. Если же применить расширенный вариант нашей модели с тем, чтобы получить разрешение температур на всех широтах и долготах, а также высотах, она превратилась бы в трехмерную модель. Разрешающая способность такой модели связана с введенной размерностью и числом пространственных деталей, которые каждое измерение может описать.

Специалисты различают целый класс климатических моделей, начиная от простых температурных моделей без временной зависимости, с усреднением пространственных параметров, до трехмерных моделей с временной зависимостью и с хорошим разрешением, которые известны под названием моделей глобальной циркуляции (МГЦ). Хотя трехмерные модели с временной зависимостью обычно динамически более точны, они требуют мощной компьютерной обработки. Поэтому иногда возникает необходимость в использовании сравнительно простых химических, физических и биологических моделей с меньшей степенью разрешения. Выбор оптимальной комбинации факторов должна подсказать интуиция создателя модели: как не теряя точности и не тратя лишнего машинного времени сохранить полноту картины. Более того, необходимо дать теоретическую оценку осуществимости долгосрочного прогнозирования; другими словами, некоторые факты по своей сути непредсказуемы. Для тех же проблем, для которых предсказуемость в принципе не исключена, этот выбор между точностью опыта и экономией машинного времени не является «научным» сам по себе; оценка преимуществ того и другого основана на взвешивании очень многих факторов. Принятие решения в этом случае в большой мере зависит от задачи, для которой разрабатывается модель.

2.3. Проблемы параметризации и механизмы климатической обратной связи

Облака отражают большую долю падающего на них солнечного света обратно в пространство, способствуя таким образом регуляции температуры Земли. Поэтому для надежного климатического моделирования весьма важно предсказание изменения степени облачности во времени. Однако большинство отдельных облаков меньше минимального размера ячейки на координатной сетке глобальных климатических моделей или моделей, предназначенных для прогноза погоды. Типичная гроза, как правило, охватывает пространство в несколько километров, а не несколько сотен километров — типичный размер ячейки глобальной модели с высоким разрешением.

Поэтому ни одна из существующих в настоящее время глобально-климатических моделей (или тех моделей, которые появятся в бли-

жайшие несколько десятилетий) не может проследить за каждым облаком в отдельности. Эти важные климатические элементы называются «субсеточными» объектами.

Но даже в том случае, когда мы не можем описать каждое облако, мы можем определить их суммарное воздействие на климат в масштабе одной ячейки сетки. Метод, которым решается эта задача, известен как параметризация — сокращение «параметрического представления».

Вместо попытки разрешения на уровне субсеточного масштаба, что является трудновыполнимым, можно установить зависимость между разрешаемыми климатическими переменными (например, для таких, изменение которых охватывает большие площади, чем размер ячейки) и такими, для которых разрешение получить нельзя. Например, разработчики климатических моделей проанализировали многолетние данные о влажности атмосферы, усредненные по большому пространству, и нашли зависимость между этими величинами и степенью облачности, усредненной по этому пространству. В типичном случае выбирается пространство такого же размера, как ячейка численной модели, то есть протяженностью в несколько сотен километров. Так как невозможно установить точное соответствие между этими усредненными переменными, были найдены логически обоснованные зависимости при самых разнообразных условиях. Для установления этих зависимостей обычно требуется несколько факторов или параметров, некоторые из которых были получены эмпирическим путем на основании экспериментальных наблюдений, а не путем вычислений из первопринципов. Метод параметризации применим почти ко всем моделям, независимо от того, какие моделируются процессы, будь то физические или биологические, или даже социальные. Больше всего параметризация затрагивает процессы, называемые механическими обратной связи. Это понятие хорошо известно. Сам термин «обратная связь» является как бы жаргоном. Он подразумевает, что информация может быть «передана обратно» источнику и тем самым повлияет на его поведение.

Именно это происходит в случае с климатической системой. Взаимодействующие в ней процессы изменяют общее состояние климата. Приведем пример, когда при внезапном похолодании уменьшается поглощение солнечного тепла обладающим высокой отражательной способностью (альбедо) снежным покровом, в результате чего происходит дальнейшее похолодание. Такой процесс взаимодействия известен климатологам как механизм обратной связи в цепочке: снег — лед — альбедо — температура. Его дестабилизирующий эффект, обусловленный положительной обратной связью, становится все более очевидным и в настоящее время вводится в параметризацию большинства климатических моделей. К сожалению, другие потенциально важные механизмы обратной связи обычно не столь очевидны.

Одной из наиболее сложных является так называемая облачная обратная связь, которая может быть как положительной, так и отрицательной в зависимости от обстоятельств. Другой трудно решаемой задачей является определение степени влияния изменений температуры и влажности почвы в результате изменения климатических условий на процесс микробиологического разложения мертвой органической материи с превращением ее в улавливающие тепло газы, такие, как двуокись углерода и метан [3].

2.4. Верификация модели

Можно ли доверять предсказаниям, полученным с помощью модели, при наличии некоторых нерешенных вопросов, связанных с параметризацией модели и механизмами обратной связи? Есть по меньшей мере несколько методов для решения проблемы, но ни один из них в отдельности не достаточен. Прежде всего необходимо проверить, насколько точны данные, полученные в процессе моделирования, сравнив их с реальными климатическими показателями на сегодняшний день, чтобы убедиться в надежности контрольного эксперимента. Для контрольного эксперимента хорошо применить сезонный климатический цикл. Рис.2.1, заимствованный из работы Сюкуру Манабе (Syukuro Manabe) и Р.Штуффера (R.Stouffer) (Лаборатория геофизической гидродинамики, Принстон, США), иллюстрирует, с какой исключительно высокой точностью трехмерная модель глобальной циркуляции может воспроизвести региональное распределение сезонного цикла температуры приземного слоя атмосферы Земли — наглядные климатические изменения, которые, при усреднении для всей планеты, будут больше, чем при чередовании ледниковых периодов с периодами потепления! Реконструкция сезонного цикла климата необходима для проверки модели на быстропотекающих процессах, таких, как, например, процесс формирования облаков; но при этом неизвестно, может ли проверяемая модель так же хорошо имитировать медленные изменения температуры в ледяном покрове, в органическом веществе почвы или в глубинных слоях океана, так как изменение этих переменных невелико на протяжении сезонного цикла, даже если бы при этом они и влияли на долгосрочные тренды.

Второй метод верификации состоит в оценке по отдельности введенных в модель физических компонентов (например, путем параметризации) и сравнении полученных результатов с их истинными значениями и/или с данными моделей, обеспечивающих более высокое разрешение. Такая проверка тоже еще не гарантирует, что суммарный эффект всех взаимодействующих физических факторов вычислен с достаточной точностью, но важностью этого метода пре-

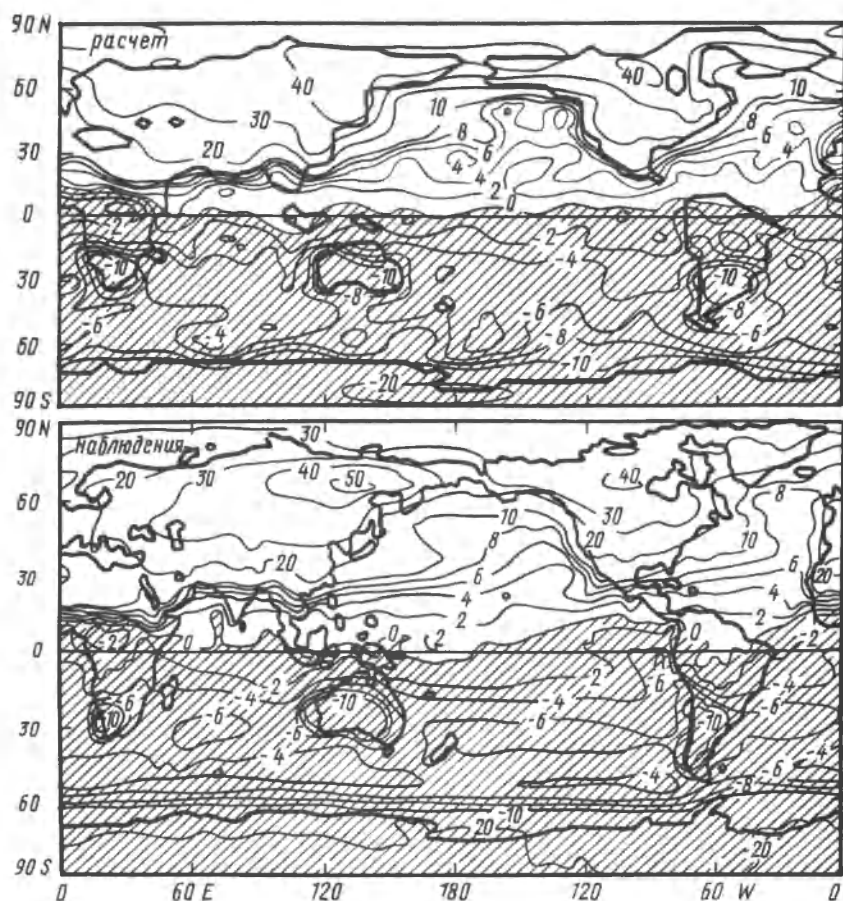


Рис.2.1. Трехмерная климатическая модель использована для расчета зимне-летних температурных перепадов по всему земному шару. Модельные предсказания проверяются по наблюдаемым данным (показано внизу). Это проверочное упражнение убедительно показывает, что модель воспроизводит многие черты сезонного цикла. Сезонные температурные экстремумы в большинстве случаев превышают значения, имевшие место между ледниковыми и межледниковыми периодами или ожидаемые для любого приемлемого варианта будущего изменения концентрации двуокиси углерода. Источник: S. Manabe and R.J. Stouffer, «Sensitivity of a global climate model to an increase of CO_2 concentration in the atmosphere». Journal of Geophysical Research (1980), vol.85, pp. 5529-54.

забегать нельзя. Например, инфракрасное излучение, исходящее от планеты в космическое пространство, может быть измерено с помощью спутников или вычислено по климатической модели. Если величину этого излучения вычесть из величины излучения поверхности Земли, полученная разность G будет характеризовать парниковый эффект, как иллюстрирует приведенный на рис. 2.2 график из работы Равалья и Раманатана [4]. Хотя возможно, что не только

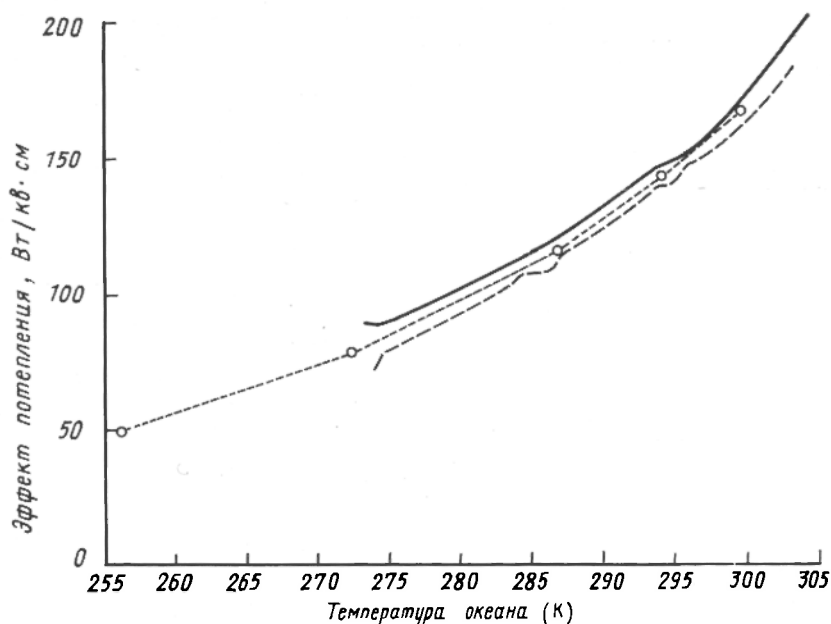


Рис.2.2. Сравнение параметра теплоудержания G , характеризующего парниковый эффект, и температуры поверхности океана, сделанное по данным трех источников: сплошная линия — годовые данные ERRE, полученные усреднением данных за апрель, июль и ноябрь 1985 г. и январь 1986 г.; широкой пунктир — данные расчета по трехмерной климатической модели для апрельских условий. Национальный центр атмосферных исследований, Общество климатических моделей); тонкий пунктир — результаты расчета по радиационной модели д-ра Аркинга, учитывающей вклады H_2O , CO_2 , O_3 и CH_4 . Видно, что оба модельных расчета близки к наблюдаемым данным.

радиационные процессы влияют на результаты, полученные как путем наблюдений, так и рассчитанные с помощью модели глобальной циркуляции (МГЦ), имеющее место хорошее совпадение между данными, полученными с помощью спутника (жирная линия, обозначенная на рис. 2.2, ERBE — Исследование радиационного баланса Земли), и вычисленными по модели глобальной циркуляции (толстая пунктирная линия, соответственно обозначенная МГЦ на том же рисунке), а также полученными путем расчета переноса радиации (тонкая пунктирная линия), доказывает, что рассматриваемый физический фактор хорошо моделируется в сеточном масштабе. Другой метод проверки состоит в сравнении данных модели со статистическим ежедневным разбросом наблюдаемых значений контролируемого параметра [5]. Некоторые переменные (например, температура) хорошо моделируются, в то время, как такие переменные, как относительная влажность, не позволяют моделировать с достаточной точностью фактическую изменчивость параметра.

В-третьих, некоторые исследователи полагают, что заведомо небольшого доверия заслуживает модель, внутренняя структура кото-

рой имеет большее пространственное разрешение и включает большее количество физических параметров, считая при этом, что «чем больше, тем лучше». В некоторых случаях и для некоторых проблем это справедливо, но никоим образом не для всех. Оптимальный уровень сложности модели зависит от той проблемы, которую мы пытаемся решить и от имеющихся в нашем распоряжении для этой цели возможностей.

Если мы хотим повысить достоверность предсказаний модели, необходимо постоянно обращаться ко всем трем перечисленным выше методам и вновь возвращаться к ним по мере того, как появляются новые типы моделей. К ним можно подключить еще один, четвертый метод: использовать возможность модели имитировать климат доисторических эпох Земли или даже климатические условия на других планетах.

Все-таки, пожалуй, наиболее запутанный вопрос состоит в том, должны ли мы наше доверие к полученным по модели предсказаниям считать достаточным основанием для изменения существующей в настоящее время политики, например по отношению к антропогенным выбросам CO_2 в атмосферу. В силу всего этого, представляющее на первый взгляд чисто академический интерес климатическое моделирование может стать основным критерием при формировании социально-политического подхода к проблеме.

2.5. Анализ чувствительности моделей и моделируемого сценария

Хотя конечной целью любой прогностической модели является точная имитация поведения некоторых из включенных в нее параметров, в отдельных случаях промежуточные результаты могут быть более ощутимыми и иметь большее практическое значение. Например, тогда, когда необходимо уточнить поведение каких-либо неопределенных или непредсказуемых параметров и затем оценить толерантность (чувствительность) этих параметров в различных естественных условиях или в различных режимах работы модели.

Например, для того, чтобы оценить социальный эффект в результате климатических изменений за счет повышения концентрации в окружающей среде таких газов, как CO_2 , прежде всего необходимо учесть имеющиеся оценки численности населения в будущем и экономические и технологические тенденции в развитии общества. (Эти факторы, конечно, являются внешними по отношению к модели, прогнозирующей климат, но, тем не менее, их тоже нужно прогнозировать). Хотя может оказаться, что не удастся предсказать их с полной уверенностью, и в этом случае можно создать ряд правдоподобных сценариев и затем оценить полученные результаты для

каждого из этих отличающихся между собой сценариев в отдельности.

Иной способ анализа климатической чувствительности состоит в построении модели, во внутреннюю структуру которой введены важные, но довольно неопределенные переменные. Внутренние ключевые факторы, такие, как обратная связь через параметры облачности или вертикальная циркуляция в океане, можно менять в пределах их вероятных значений, что поможет определить, какие внутренние процессы являются наиболее важными с точки зрения чувствительности климата, например, к загрязнению среды двуокисью углерода. Даже при том, что никто не может с уверенностью сказать, какая из моделей является наиболее реалистичной, анализ чувствительности может: а) помочь установить, в каком порядке надо провести дальнейшее исследование этих изменчивых параметров внутренней структуры модели, б) помочь найти диапазон изменений климата, к которым, возможно, придется адаптироваться человечеству в последующие десятилетия. Располагая такими вероятностными оценками, многие из нас предпочли бы избежать даже небольшой возможности значительных климатических последствий, сопровождаемых соответствующим неблагоприятным развитием событий. Действительно, при формировании общественного мнения обычно стараются не привлекать внимания к возможным неблагоприятным сценариям развития событий в будущем. Аналогично поступают люди, покупающие страховой полис. С другой стороны, люди, более склонные к риску, возможно, предпочтут иметь точное научное обоснование, прежде чем потребовать от общества использования имеющихся сегодня в наличии средств для предотвращения возможных, хотя и неопределенных климатических проблем в будущем. Как минимум, исчерпывающий анализ климатической чувствительности, в котором параметры внутренней структуры модели и/или внешние параметры подвергаются многократным изменениям, позволяет количественно исследовать различные последствия сделанных предположений.

В любом случае, даже если невозможно добиться надежности единичного прогноза, можно, пользуясь правдоподобными сценариями, провести анализ климатической чувствительности с целью повышения достоверности результатов, что поможет уточнить диапазон вероятностей и последствий осуществления того или иного сценария. Такие предсказания могут оказаться наилучшими из тех, которые могут быть сделаны честными специалистами с тем, чтобы обеспечить общество информацией о всем спектре возможных альтернатив развития природных систем [6]. Как реагировать на такую информацию? Это уже сфера экономики и политики.

Далее обратимся к примерам.

2.6. Результаты климатического моделирования

2.6.1. Палеоклиматы

Для исследования изменений климата в будущем необходимо начать с изучения климата древнейших эпох, а затем современных климатических процессов. Те же самые базовые модели, с помощью которых мы предсказываем вызванное повышением концентрации CO_2 в атмосфере изменение климата уже в следующем двадцать первом веке, могли бы быть применены для исследования изменений палеоклиматов. Таким образом можно получить как научное обоснование палеоклиматических условий, так и проверить, можно ли с помощью модели проследить за изменением этих условий на протяжении длительных периодов.

Были проведены исследования на трехмерной модели атмосферной циркуляции, в которую в явном виде включено влияние суши, моря и атмосферной циркуляции. Эксперимент позволил установить порядок чередования сменявших друг друга климатических периодов, начиная с завершившегося 18 тыс. лет назад ледникового периода до настоящего времени. Одной из наиболее успешных палеоклиматических моделей следует считать разработанную Джоном Кутцбахом (John Kutzbach) совместно с несколькими коллегами из Висконсинского университета (Мадисон, США) [7]. Кутцбах пытался объяснить, почему самый теплый период, так называемый «климатический оптимум», возник в недавнем прошлом, приблизительно 5-9 тыс. лет тому назад. В это время летние континентальные температуры в Северном полушарии были на несколько градусов выше, чем в наши дни, а муссонные дожди в Африке и Азии были более интенсивными, и Кутцбах пришел к выводу, что климатический оптимум может объясняться тем, что наклон земной оси в ту эпоху был немного больше, чем теперь. Кроме того, орбита была такова, что Земля находилась ближе всего к Солнцу (то есть, в перигелии) в июне, а не в январе, как теперь. Эти изменения и незначительные отклонения земной орбиты не влияют существенным образом на годовое количество солнечного излучения, падающего на Землю, но значительно изменяют разницу между зимними и летними сезонами. На большей части Северного полушария летом количество солнечного тепла 9 тыс. лет назад было на 5% больше летом и соответственно меньше зимой по сравнению с настоящим временем. Исследования на моделях Кутцбаха показали, что такой эффект был достаточным для среднеконтинентального потепления в летние месяцы, что привело к увеличению количества муссонных осадков и стока рек в Азии и Африке в этих моделях.

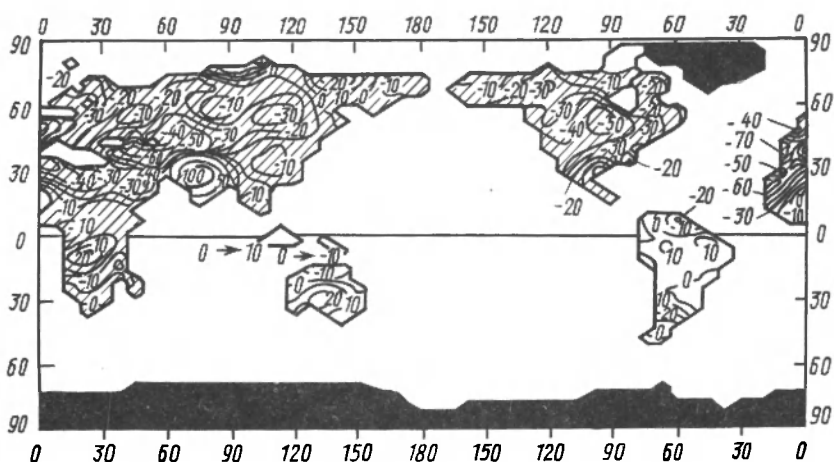


Рис.2.3. Изменение содержания влаги в почве, вызванное увеличением концентрации CO_2 . Данные представлены как процентное отношение почвенного влагосодержания, полученное в результате моделирования с удвоенной концентрацией CO_2 к этой же величине, рассчитанной для нормального содержания CO_2 . Обратите внимание на неоднородный по поверхности Земли отклик этого экологически важного параметра на однородные изменения концентрации CO_2 . Источник: S.Manabe and R.Wetherald. «Reduction in Summer Soil Wetness Induced by an Increase in Atmospheric Carbon Dioxide» Science (1986), vol.232, p.626

Его результаты весьма хорошо согласуются с многочисленными палеоклиматическими свидетельствами, собранными международной группой ученых [8], и помогают дать объяснение одной из важных загадок в палеоклиматической летописи.

2.6.2. Предсказание глобального потепления в двадцать первом столетии

Наиболее важный вопрос в дискуссии о парниковых газах состоит в следующем: каким будет региональное распределение климатических изменений, связанных с загрязнением CO_2 и прочими парниковыми газами? (Парниковый эффект от других газов, таких, как хлорфторуглероды (фреоны), метан, окислы азота, озон, вместе взятых, сопоставим с парниковым эффектом в следующем веке от CO_2 в отдельности) [9]. Для изучения этой вероятности нужна модель с региональным разрешением. Она должна включать в себя такие процессы, как гидрологический цикл и накопление влаги в почвах, так как оба эти фактора являются решающими по своему влиянию как на изменение климата, так и на земледелие и водоснабжение. Для исследования возможных климатических сценариев специалисты, как правило, используют «имитацию равновесия». При этом все мгновенные прираще-

ния значений концентрации CO_2 накладываются на какую-либо временную точку, принимаемую за исходную, и считаются фиксированными на тот отрезок времени, за который система достигает нового состояния равновесия.

Для примера можно сослаться на проведенное Сюкуру Манабе и Р.Т. Везералдом (R.T. Wetherald) исследование, один из наиболее популярных результатов которого иллюстрируется на рис. 2.3. Они обнаружили летнюю «сухую зону» в центре Северной Америки, а также повышенную влажность в некоторых муссонных зонах. Эти данные были получены на модели, в программу которой было заложено двукратное повышение концентрации CO_2 на протяжении фиксированного промежутка времени. Для достижения равновесного состояния потребовалось несколько десятилетий имитированного времени. А научная группа Манабе использовала в модели искусственную реконструкцию океана, состоящего из однородного слоя глубиной 70 м, в условиях отсутствия теплообмена между верхними и нижними слоями океана. Хотя это «мелкое море» позволило удовлетворительно смоделировать сезонный цикл (рис. 2.1), такой чисто однородный океан не даст возможности воспроизвести целый ряд важных процессов, при которых водные массы перемещаются в горизонтальном направлении от тропиков к полюсам или в вертикальном от перемешанного слоя к абиссальной зоне. Последние процессы замедляют наступление температурного равновесия в поверхностных водах и, безусловно, влияют на быстрые изменения температуры на поверхности океана, обусловленные происходящим в это время повышением концентрации парниковых газов.

Поэтому в течение переходной фазы процесса потепления повышение поверхностной температуры от широты к широте и от суши к морю может происходить иным образом, чем в условиях равновесной системы. Это, в свою очередь, может привести к климатическим аномалиям, совершенно иным в переходной фазе, чем те, что вытекают из рассмотрения равновесной системы с фиксированными мгновенными приращениями концентрации малых газовых примесей.

Для того чтобы дать более обоснованный ответ на вопрос, касающийся переходной фазы, было предложено скомбинировать трехмерные атмосферные модели с весьма реалистичными трехмерными моделями океанов. До настоящего времени было проведено незначительное количество такого рода модельных экспериментов [10] и ни один из них не охватывал сто- или двухсотлетнего отрезка времени, что было бы необходимо для решения этой важной проблемы. Одна из причин детального рассмотрения приводимого здесь примера климатической аномалии регионального распределения CO_2 в переходной фазе состоит в том, чтобы показать необходимость тестов на чувствительность для всего ряда климатических моделей. Эти методы особенно нужны на стадии разработки модели. В 1980 г. нами (Стефен Шнайдер,

Старли Томпсон (Starley Thompson) был проведен эксперимент на квазиоднородных моделях для того, чтобы оценить потенциальную важность переходной стадии [11]. Но оказалось, что эти модели не могут обеспечить надежную имитацию процессов из-за своей физической упрощенности. Однако эти одномерные модели достаточно экономичны для того, чтобы можно было прогнать на них программу эксперимента, охватывающую столетний период, необходимый для того, чтобы проследить переходную фазу изменения концентрации CO_2 . Полученные данные убеждают в том, что для повышения достоверности региональных нестационарных сценариев климатических изменений необходимо использовать вспомогательные модели с высокой разрешающей способностью, описывающие атмосферные, океанические, криосферные и ландшафтные процессы. С другой стороны, более сложные трехмерные модели общей циркуляции, разработка которых пока не завершена окончательно, еще не завоевали такого доверия, как комплексные модели атмосфера-океан, уже хорошо проверенные на практике и достаточно экономичные для работы с программой, охватывающей интервал в сто лет, что необходимо для имитации нестационарных процессов при изменениях концентраций парниковых газов.

Поэтому простая модель помогает выяснить и ограничить круг потенциально важных проблем, обеспечить количественные исследования климатической чувствительности и определить приоритеты в исследованиях с помощью трехмерных взаимодействующих моделей и программ необходимых наблюдений на следующие несколько десятилетий. Так как вклад сельского хозяйства и других экологических нагрузок в увеличение концентрации парниковых газов в окружающей среде зависит от специфического регионального и сезонного распределения климатических изменений, результаты дискуссии о переходном климатическом периоде помимо прочего чрезвычайно важны для оценки масштаба влияния на климат предполагаемого в будущем (и в близком, и в далеком) увеличения концентрации парниковых газов и необходимых адаптационных мер в связи с этим.

Как много времени может потребоваться для достижения ощутимых результатов при исследовании на таких комплексных моделях? Противники принятия срочных превентивных мер против ожидаемого глобального потепления ссылаются на то, что существенного прогресса в этом деле можно добиться лишь через три-пять лет при затратах в 100 млн долл., необходимых для продолжения исследований [12]. Хотя нельзя отрицать, что новые усилия исследователей приведут к ускорению процесса, было бы абсурдно говорить о надежности региональных климатических проектов раньше, чем через десять лет. От трех до пяти лет интенсивной работы уйдет только на то, чтобы добиться такого режима работы компьютера и комплексных

моделей атмосфера — океан — суша — лед, который даст возможность постоянных реконструкций во временных рамках от пятидесяти до ста лет. В настоящее время планируется разработка спутниковых программ для проверки достоверности данных, полученных на моделях. Однако пройдет не менее десяти лет, пока эта информация станет широко доступной. Далее, через десять-пятнадцать лет, если нам повезет и на пути к цели не встретятся какие-либо научные или технические препятствия, может быть достигнута единая точка зрения среди ученых относительно региональных проектов. Еще более вероятно, что еще пять-десять лет потребуются на устранение препятствий, которых мы сейчас не можем предвидеть. В главе 11 отчета IPCC также говорится, что не менее десяти-двадцати лет понадобится исследователям для достижения значительного научного прогресса в решении этой проблемы [13]. Мы считаем совершенно недопустимым откладывать принятие мер по предотвращению глобального потепления на такой долгий срок.

2.7. Дискуссия о глобальном потеплении

Однако, прежде чем обсуждать возможные превентивные проекты, следует отметить, что не все компетентные специалисты согласны с тем, что такие глобальные изменения климата являются вероятными. В сущности, у того, кто сейчас следит за широко распространяемой, поступающей из различных источников информацией о шумной полемике по этому вопросу, может сложиться впечатление (по нашему мнению, ложное), что среди ученых ныне бытуют два прямо противоположных мнения о глобальном потеплении и его последствиях: (1) изменение климата в будущем представляется несомненным фактом, и оно будет таким внезапным и суровым, что начнется вымирание человеческого рода; повышение уровня моря приведет к миграции десятков миллионов экологических беженцев; миллиарды людей будут умирать с голода; начнется явное разрушение экосистем; (2) альтернативная точка зрения — нет никакой определенной информации о глобальном потеплении, нет никаких экспериментальных данных, подтверждающих, что в двадцатом веке произошло то, что было предсказано разработчиками моделей; и тех, кто выступает за неотложное принятие мер против глобального потепления, надо рассматривать как «экологических экстремистов» — поэтому нет никакой необходимости в разработке превентивной стратегии по отношению к событию, которое представляется невероятным, и уж во всяком случае, такая стратегия не должна вступать в противоречие со «свободным рынком» и проблемами стран-должников [14]. К сожалению, эти прения, зачастую лишь на тему «кто прав, кто виноват» были довольно подробно освещены как в прессе, так и другими средствами массовой инфор-

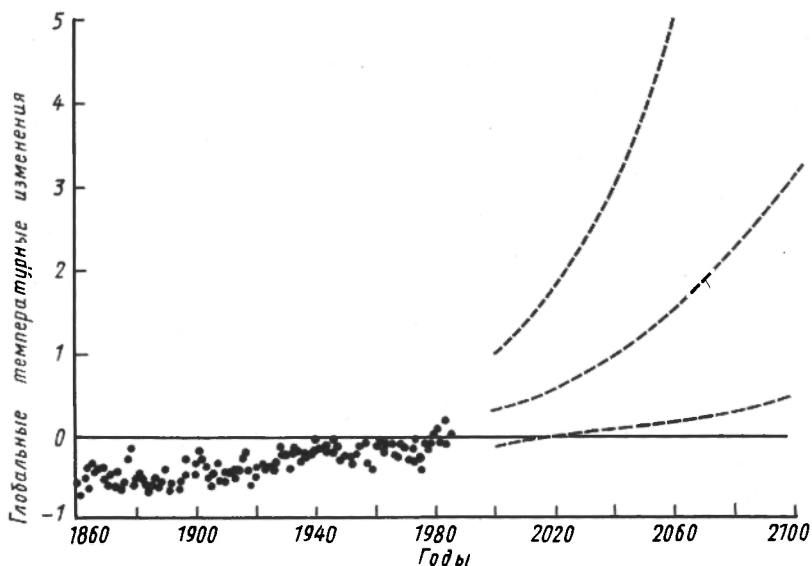


Рис.2.4. Три возможных сценария глобального изменения температуры к 2100 г., допускаемые комбинациями неопределенностей модельных предсказаний значений концентраций малых газовых примесей и моделирования климатического отклика на наличие этих примесей. Предсказанные глобальные температурные изменения свыше 2 град.С (3.6 град. F) были бы беспрецедентными за всю историю человеческой цивилизации. Средняя и верхняя кривые соответствуют климатическим изменениям в 10-100 раз более быстрым, чем типичная долговременная средняя скорость глобального изменения. Источник: J.Jaeger, Developing Policies for Responding to Climatic Change: a summary of the discussions and recommendations of the workshops held in Villach. 28 September to 2 October 1987.

мации, при этом почти ничего не сообщалось о существовании научных споров и консенсусе, достигнутом в научном сообществе по основным вопросам. По нашему мнению, обе крайние оценки — «конец света» или «нет никаких оснований для беспокойства» — наименее вероятны, а почти любой сценарий в интервале между ними более правдоподобен.

На рис.2.4 представлена тенденция глобального потепления в двадцать первом столетии по данным, полученным международной группой ученых, принявших участие в состоявшейся в середине 1980 г. конференции Международного совета научных союзов (ICSU). Их оценка климатической чувствительности очень близка к изложенной в докладе IPCC. Рис.2.4 иллюстрирует потепление от очень умеренного повышения температуры на 0,5 град.С до катастрофического потепления на 5 град.С и выше еще до конца следующего века. Без сомнения, последнее может быть названо катастрофическим, так как это соответствует уровню потепления, имевшему место между 15 тыс. и 5 тыс. лет назад и ознаменовавшему собой переход от последнего

ледникового периода к современной межледниковой эпохе. Потребовалось 5-10 тыс. лет для полного перехода к эпохе потепления, и переход этот сопровождался подъемом уровня моря на высоту около 100 м, миграцией различных видов растений на тысячи километров, радикальным изменением среды обитания животных и растений, вымиранием одних видов живых организмов и эволюцией других, а также другими значительными изменениями в окружающей среде. В сущности, переход от ледникового периода к эпохе потепления значительно изменил экологическое лицо планеты.

Если бы сценарии, отраженные в верхней части схемы, протекали так быстро, как это иллюстрируется на рис. 2.4 в соответствии с данными проведенных исследований, это соответствовало бы тому беспокойству, которое выражают многие ученые в связи с близкой перспективой глобального потепления. С другой стороны, существует много неизвестных нам действующих факторов, и большинство ученых, в том числе и автор данной статьи, не решилось при предсказании вероятности такого события ориентироваться на что-либо, кроме качественной оценки явлений и собственной интуиции, придя к выводу, что на протяжении двадцать первого века вполне вероятно изменение климата, характеризующееся повышением глобальной температуры лишь на 1 град.С или около того. Это, казалось бы, незначительное повышение глобальной температуры может оказаться опасным для жизни некоторых организмов (например, к вымиранию некоторых видов растений и животных, обитающих вблизи горных вершин, может привести даже еще меньшее повышение глобальной температуры). Постепенное повышение менее чем на один градус на протяжении столетия, очевидно, нанесло бы меньший ущерб природе (и, конечно, человечеству), чем изменение температуры на несколько градусов за пятьдесят лет. Действительно, скорость повышения температуры может быть важнейшим фактором с точки зрения адаптации к новым климатическим условиям как искусственных, созданных человеком, так и природных систем. Это в особенности касается последних, так как они не могут в той же степени адаптироваться к новым условиям, как это, например, делают наши фермеры, засевая поле новыми сельскохозяйственными культурами, которые хорошо выращиваются в подобных климатических условиях [15].

Критики немедленной реакции на проблему глобального потепления прежде всего ссылаются на то, что во многих случаях параметры, введенные в климатические модели, недостаточно точны, что может привести к завышенной оценке среднего прогностического повышения глобальной температуры, как это иллюстрирует кривая среднего сценария на рис. 2.4. В самом деле, большинство создателей климатических моделей публикуют одни и те же предостережения в печати, и многие из нас возмущаются намеками некоторых критиков, что

они вполне обоснованно указывают общественности на эти неопределенности, в то время как разработчики моделей умышленно скрывают эти неопределенности, для того, чтобы преувеличить реальную угрозу [16]. Многие критики почему-то умышленно не обращают внимания на тот факт, что неопределенность — это палка о двух концах: неопределенности в физических и биологических процессах в современном поколении моделей могут являться причиной как завышенной оценки потепления, так и заниженной.

Другие критики [18] утверждают, что некоторые процессы, выходящие за рамки разрешающей способности модели (например, тропическое облакообразование), могут быть причиной настолько сильной отрицательной обратной связи, что прогнозируемое ныне глобальное потепление (на 2-4 град.С при удвоении концентрации CO_2) за счет этого фактора может быть уменьшено в четыре и более раз. Для обоснования своих выводов, однако, они не предлагают произвести исследования на глобальной модели.

Но если бы и возникла большая ошибка (в 5 раз, например) в оценке влияния облачности на сценарные расчеты увеличения концентрации CO_2 , модели не смогли бы воспроизвести сезонные температурные циклы в любом месте и с точностью до градуса. А они воспроизводят, как это показывает рис. 2.1. Изменения облачности очень быстры; характерный период гораздо короче сезона. А глубинные океанические циклы занимают десятилетия или больше. Поэтому тестирование моделей сезонного цикла не может служить критерием справедливости моделей процессов глобального потепления. На основании этого нельзя также сделать выводы о надежности моделей для предсказания региональных изменений траекторий ураганов, что очень существенно для районирования строительства. С другой стороны, тестирование моделей сезонных циклов увеличивает в два-три раза нашу уверенность в том, что величина изменения глобальной температуры, изображенная на рис. 2.4, воспроизведена верно — вот почему, по нашему мнению, глобальное потепление в двадцать первом веке имеет шансы быть беспрецедентным, так же, как беспрецедентным было потепление на 2 град.С в течение минувшего 10000-летнего периода развития человечества.

Ранее мы отмечали, что А.Раваль и В.Раманатан из Чикагского университета использовали спутниковые данные для исследования очень важного механизма обратной связи между содержанием водяного пара в атмосфере и парниковым эффектом, дающим, в соответствии с оценками большинства моделей, вклад порядка 3 град.С (плюс минус 1,5) в долгопериодное потепление в результате удвоения концентрации CO_2 . Они заключили, что парниковый эффект значительно возрастает при увеличении температуры поверхности океана. Скорость этого возрастания неоспоримо свидетельствует о положительной обрат-

ной связи между температурой поверхности океана, содержанием водяных паров в атмосфере и парниковым эффектом; величина этой обратной связи согласуется с предсказаниями климатических моделей. Другими словами, способность земной атмосферы улавливать тепло хорошо измерена, что делает беспочвенной большую часть полемики о парниковом эффекте. Такое эмпирическое подтверждение естественного парникового эффекта вместе с результатами модельных расчетов резко контрастирует с теоретическими положениями критиков, проповедующих стабилизирующую роль водяных паров в тропической зоне, уменьшающих модельную оценку глобального потепления в четыре раза или около того.

Хорошо известно, что 25%-ое повышение уровня двуокиси углерода, документально зарегистрированное с начала индустриальной эпохи, и антропогенные выбросы таких химических веществ, как фреоны (ответственные также за истощение стратосферного озона), с 1950 г. должны добавлять два ватта энергии инфракрасного излучения на каждый квадратный метр земной поверхности. С этим согласно большинство климатологов. Однако разногласия возникают по поводу того, как эти ватты влияют на повышение температуры, так как здесь требуется выяснить, сколько этого тепла идет на нагрев поверхности, испарение, облакообразование, таяние льда и т.д. Фактор неопределенности от 2 до 3 в предсказаниях глобального роста температуры, цитируемый в большинстве отчетов Национальной академии США или IPCC, фактически признан большей частью научной общественности. Действительно, даже недавние попытки некой британской группы ученых снизить вдвое чувствительность моделей к удвоению уровня CO_2 за счет влияния облачных частиц привели все к тому же диапазону температурного изменения 1,5 — 4,5 град.С. Однако авторы этого исследования из Британского метеорологического управления весьма мудро заметили, что «хотя их модифицированная схема учета облачности очень детальна, она не обязательно более точна, чем менее детальные схемы». Нам не доводилось встречаться с тем, чтобы это откровенное и очень важное признание когда-либо было упомянуто критиками концепции глобального потепления, несмотря на то, что они часто ссылаются на эту британскую работу с целью снизить вдвое оценку глобального потепления.

Наконец, как утверждалось выше, предсказание детального регионального распределения климатических аномалий, т.е., где погода будет более сырой или сухой, сколько наводнений будет весной в Калифорнии или лесных пожаров в Сибири в августе, является чисто умозрительным, хотя некоторые вероятные сценарии и могут быть определены, как это сделано в отчете IPCC [21] или более ранних оценках (табл. 2.1), представленных в отчете Комитета Национальной академии наук США о климатических изменениях в результате удвоения уровня CO_2 [22].

Таблица 2.1.

Возможные климатические изменения из-за удвоения содержания CO_2 в атмосфере

Источник: Национальная академия наук США

Значительное стратосферное похолодание *(уже свершившееся)*

Уменьшившаяся концентрация озона в верхней стратосфере приведет к уменьшению поглощения солнечного ультрафиолетового излучения и, поэтому, к меньшему ее прогреву. Увеличение концентрации стратосферной двуокиси углерода и других радиационно-активных малых газовых примесей приведет к увеличению теплоотдачи стратосферы. Комбинация уменьшения скорости подогрева и увеличения скорости охлаждения приведет к значительному понижению температуры верхней стратосферы.

Глобальное среднее потепление поверхности *(очень вероятное)*

Долговременное среднее глобальное потепление поверхности в пределах 1.5—4.5 град.С ожидается при удвоении содержания CO_2 (или эквивалентном количестве других парниковых газов). Наиболее значительная неопределенность связана с ростом скорости поступления парниковых газов в атмосферу, с естественными флуктуациями в климатических системах и с детальным откликом медленно реагирующих частей климатической системы, т.е. океана и материкового льда.

Глобальное увеличение среднего уровня осадков *(очень вероятное)*

Увеличивающийся нагрев поверхности приведет к увеличению испарения и, поэтому, к глобальному увеличению уровня осадков. Несмотря на это, в некоторых отдельных районах можно ожидать уменьшения уровня дождевых выпадений.

Уменьшение поверхности морского льда *(очень вероятное)*

По мере потепления климата можно ожидать уменьшения поверхности морского льда.

Потепление полярных зим *(очень вероятное)*

По мере смещения границы морских ледников к полюсам, модели предсказывают драматическое увеличение зоны прогревания поверхности в полярных регионах. Большая доля открытой воды и более тонкий морской лед, вероятно, приведут к потеплению приполярной части нижней тропосферы, по крайней мере, второе.

Летнее иссушение (потепление) континентов *(вероятно в отдаленном будущем)*

Несколько исследований предсказали заметное долговременное понижение влагосодержания почвы в летний период во внутриконтинентальных областях средних широт. Это иссушение вызвано, главным образом, более ранним окончанием таяния снегов и периодов дождей и весенне-летним высушиванием почвы. Конечно, такое моделирование долговременных равновесных условий не может служить надежным ориентиром в прояснении тенденций изменения состава атмосферы и климата на несколько десятилетий вперед.

Высокоширотное увеличение уровня осадков *(вероятное)*

По мере потепления климата возрастающее проникновение тепла и влажного воздуха к полюсам должно увеличить среднегодовой уровень осадков в высоких широтах.

Подъем среднего уровня океанов *(вероятный)*

Ожидается подъем среднего уровня океанов вследствие распространения тепла в морской воде в условиях более теплого климата в будущем. Менее определенным представляется вклад в этот процесс таяния материкового льда.

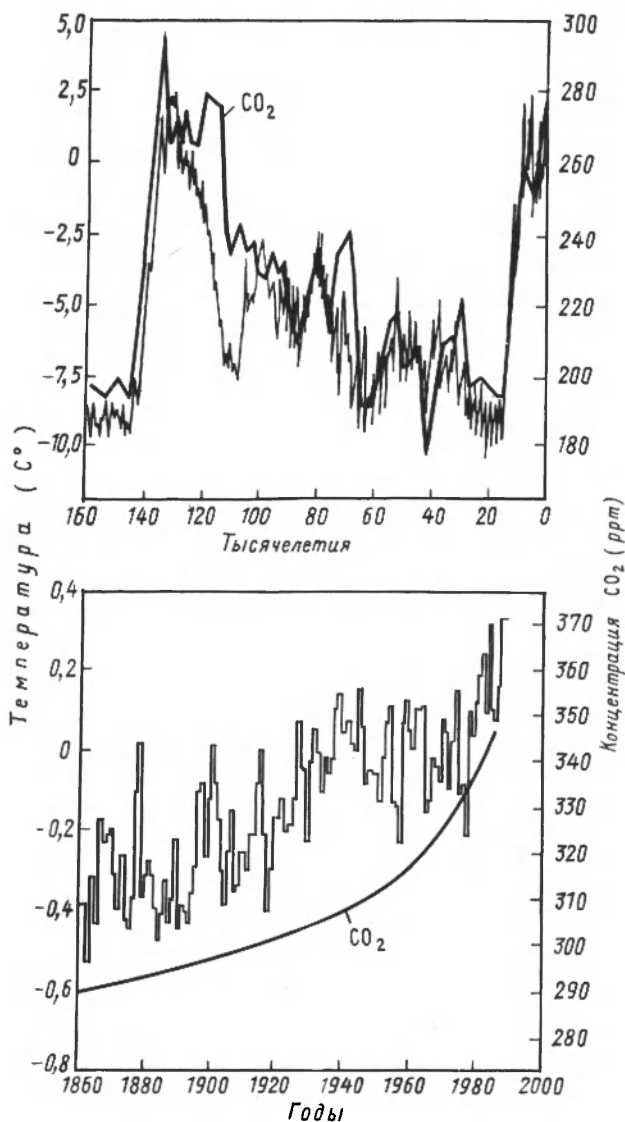


Рис.2.5. Содержание CO₂ и температура довольно хорошо коррелировали на протяжении последних 160 тыс.лет (рисунок сверху) и в меньшей степени — в последние 100 лет (нижний рисунок). Одновременные показания, основанные на данных из Антарктики, показывают, как локальная температура и содержание атмосферного CO₂ росли параллельно по мере того, как завершился ледниковый период около 130 тыс. лет тому назад, и падали почти синхронно при установлении нового ледникового периода, и росли снова по мере отступления льда 10 тыс. лет назад. Недавние температурные измерения указывают на слабое глобальное потепление (прослежено учеными Группы исследований климата Университета Восточной Англии). Сейчас активно обсуждается вопрос, является ли подъем содержания CO₂ в атмосфере следствием потепления на полградуса, или нет.

Другой аспект, с которым связана критика моделей глобального потепления — это не вполне удовлетворительное соответствие низкой скорости накопления парниковых газов уровню потепления на Земле в предшествующие сто лет (см. рис. 2.5, снизу). Критиками утверждалось, что раз потепление в двадцатом столетии, имевшее место между 1915 и 1940 гг., сменилось похолоданием в момент максимального накопления парниковых газов, то температурный тренд двадцатого столетия не может иметь отношения к их содержанию в атмосфере. На самом же деле последний аргумент имеет изъяны. Во-первых, всегда есть естественные флуктуации. Температурные колебания в несколько десятых градуса на протяжении десятилетий — игра природы; здесь нет ничего противоестественного. Ученые называют это «климатическим шумом». Насколько сейчас известно, эти флуктуации непредсказуемы, так как их причина — динамическое перераспределение энергии и химических соединений между главнейшими резервуарами: атмосферой, океаном, льдами, сушей и живыми организмами. Поэтому естественные флуктуации могут дать только частичное объяснение резкому потеплению в конце 30-х, похолоданию 1975 г. и, возможно, даже быстрому потеплению в конце 70-х — начале 80-х — самому теплomu из зарегистрированных десятилетий. Во-вторых, нам точно не известно, какие еще потенциальные форсфакторы (т.е. процессы, ведущие к изменению климата) действовали на протяжении последних ста лет. Они включают в себя поток солнечной энергии, вулканогенные и антропогенные аэрозоли. Разрешение этой проблемы причины-следствия, образно говоря, сродни детективному расследованию, в котором известно только приблизительное местонахождение одного из главных подозреваемых, а остальные, второстепенные персонажи, находятся в тени. В нашем случае «преступление» — это, конечно, пресловутые потепления в двадцатом столетии на 0,5 град.С (плюс минус 0,2 град.С), а главный «подозреваемый» — увеличение концентраций парниковых газов в атмосфере, что и демонстрирует нижняя часть рис.2.5. К сожалению, из-за того, что у нас нет количественных способов для точного измерения вклада других потенциальных форсфакторов (т.е. других нераскрытых «подозреваемых»), мы не можем так просто закрывать глаза на их возможную роль в процессах климатообразования. Эти факторы включают в себя поток солнечной энергии, загрязнение атмосферы окислами серы и вулканические извержения.

Далее, хотя некоторые критики и допускают, что увеличение потока солнечной энергии на десятые доли процента за столетия способны объяснить потепление на Земле в двадцатом веке [23], они часто забывают упомянуть, что одинаково вероятно и уменьшение этого потока. Вследствие недостаточной точности, измерения не фиксируют этого уменьшения, и мы тем самым оказываемся в дурацком положении, когда пытаемся связать глобальное потепление с одними только данными о выбросах парниковых газов: их концентрации растут, а парниковый эффект — нет. Короче, критики не видят этой стороны

проблемы. Неизвестные факторы могут как увеличивать, так и уменьшать наши оценки.

В некоторых исследованиях [24] сделана попытка оценить воздействие парниковых газов, вулканических процессов и солнечного излучения на температурный тренд двадцатого столетия. Действительно, учет этих трех факторов в таких оценках должен улучшить согласованность результатов численного моделирования с наблюдаемыми температурными изменениями. Исследователи соглашались в одном: без более надежной количественной информации о реальной роли этих факторов все эти расчеты способны дать весьма схематичную информацию о вероятных, а не действительных последствиях их воздействия. Межправительственная комиссия по проблемам климатических изменений также подчеркивала эту трудность [25]. Она снова заключила, что удвоение уровня CO_2 в атмосфере с большей вероятностью приведет к потеплению на 1,5—4,5 град.С. Но в еще большей степени все согласны с тем, что без десяти-двадцатилетних наблюдений за температурой, солнечной активностью, загрязнениями и вулканической деятельностью невозможно предсказать что-либо определенно.

Как уже упоминалось, излюбленная тактика критиков концепции глобального потепления — выпады по поводу неспособности климатических моделей предсказать подекадные температурные флуктуации. Но эта критика сродни такому рассуждению: раз мы не можем предсказать результат одного бросания пары костей, то нельзя предсказать и средний шанс выпадения любой пары граней. Игрокам лучше знать! Хотя и известна статистика выпадения каждой суммы чисел, мы, конечно, ничего не можем сказать о конкретной последовательности выпадений в ряде независимых бросаний.

Весной 1990 г. два специалиста NASA [26] публично заявили, что их данные спутникового зондирования не обнаружили тенденции к глобальному потеплению в 80-х годах. Однако невозможно ожидать, что хотя бы одно десятилетие показало бы тенденцию, определенно превышающую уровень климатического шума — пункт, который явно недооценили и которым также пренебрегают в большинстве случаев другие авторы при трактовке их работы. Более того, спутниковые результаты Спенсера (Spencer) и Кристи (Cristy) подтверждают, а не отрицают уже опубликованные результаты анализа температурного тренда, в соответствии с которым в начале и конце 80-х были зарегистрированы теплые годы, а в середине — на несколько десятых градуса холоднее. (Кстати, эти более холодные годы приблизительно приходятся на время стратосферного аэрозольного выброса в результате извержения вулкана Эль-Чичон).

Короче, те, кто говорит, что отсутствие точного соответствия между подекадными температурными флуктуациями, повышением содержания парниковых газов в атмосфере и предсказаниями моделей свидетельствует о плохой чувствительности последних, просто выходят за рамки своей же логики, так как соответствия в декадном масштабе

и не должно быть из-за того, что климатический шум в подавляющей степени ответственен за подекадный ход температуры. К счастью, теперь мы измеряем и солнечную активность, и следим за вулканическими извержениями и другими источниками атмосферных загрязнений, и можем поэтому судить об их влиянии. Наконец-то и остальные «подозреваемые» у нас под колпаком. Итак, если предсказанное потепление не наступит в течение 90-х гг. и первого десятилетия следующего века несмотря на рост уровня загрязненности атмосферы парниковыми газами, то это даст возможность на основании прямых наблюдений сделать вывод о несостоятельности предсказаний современных климатических моделей.

Ученые продолжают разработку и усовершенствование новых моделей, численные эксперименты в рамках которых будут производиться на более мощных компьютерах с использованием более широкого набора данных наблюдений для улучшения и верификации этих моделей. А сейчас мы должны попросить у общества отпущения грехов и заставить его понять, что немедленные и определенные ответы в настоящее время невозможны, поскольку разработка высокоразрешающих моделей процессов физико-химического взаимодействия атмосферы, океана, ледников и суши потребует не менее десятилетия. Важно, что характерные черты самих климатических моделей и их приложений типичны для все возрастающего круга проблем, стоящих перед человечеством, таких, как размещение ядерных отходов, безопасность пищи и лекарств, эффективность стратегической обороны и т.д. Для изучения этих проблем невозможно получить «научно гарантированный» ответ иначе, как поставив эксперимент на себе. Для решения этих сложных социально-технических проблем требуется новое понимание центральной (неполной) роли неопределенности и доли произвола при оперировании с вероятностными оценками, что делает неизбежным более широкое использование моделей с обязательными и хорошо разработанными параллельными программами натурных измерений для проверки справедливости модельных предсказаний. Нормальная жизнь человеческого сообщества будет в немалой степени зависеть от нашего понимания как полезности, так и ограниченности возможностей моделей. Однако ставка здесь — нечто большее, чем просто экономическая эффективность, так как выживание населения некоторых, в особенности низколежащих береговых зон будет зависеть от решений, принятых уже теперь на основании предсказаний будущего климата.

Если общественность не воспримет правильно смысла и не поверит в прогностические возможности климатических (и других) моделей, тогда, в лучшем случае, результаты моделирования будут использоваться в политике наугад. А тогда процесс принятия решений будет легко подвержен влиянию специальных интересов или воле технократической элиты.

Глава 3

ЭФФЕКТЫ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Джордж М. Вудуэлл (George M. Woodwell)

«...Существует вероятность, что потепление будет продолжаться до такого уровня, когда выбросы биоты (парниковые газы), обусловленные этим потеплением, достигнут величины, за пределами которой человечество не сможет влиять на этот процесс.

Если это произойдет, то невозможно будет каким-либо способом контролировать это явление. Мы не знаем сегодня, насколько мы далеки от этой критической точки, потому что мы не имеем достаточно подробной информации о циркуляции углерода во всей совокупности углеродного цикла. В ближайшем будущем мы не сможем разрешить эти вопросы окончательно. Тем временем, концентрация газов в атмосфере, благодаря которым удерживается тепло, продолжает расти...»

Если сегодняшняя тенденция сохранится, то к 2030–2050 гг. атмосфера будет содержать такое количество парниковых газов, которое будет обладать теплопоглощающей способностью в два раза большей, чем двуокиси углерода, содержащейся в атмосфере в середине прошлого столетия [1].

Такой прогноз основывается на наблюдениях за скоростью аккумуляции двуокиси углерода и других газов, удерживающих тепловое излучение в атмосфере, а также на допущении, что изменения климата не будут влиять на скорость накопления газов. Согласно оценкам климатологов, такая концентрация парниковых газов приведет к прогреванию земной поверхности в среднем на 1,5–4,5 град. С [2].

По прогнозам тех климатологов, которые не учитывают влияния лесных массивов и почвы, потепление в умеренных и высоких широтах земного шара будет на 50-100% выше, чем среднее изменение температуры по всей Земле; в тропическом поясе потепление будет незначительным, но может существенно изменяться в результате длительных ливней [3].

Целью настоящего раздела является подробное изучение роли биоты в потеплении. Здесь будут приведены доказательства того, что увеличение дыхания биоты при потеплении будет доминировать над всеми другими эффектами и ускорять процесс накопления двуокиси углерода и метана за счет дыхания растений и разложения органических веществ в почве. Именно эти два газа ответственны приблизительно за три четверти общего потепления. Кроме того, здесь будут даны описания возможных последствий глобального потепления в сельскохозяйственном секторе, для водных ресурсов и поселений в прибрежных зонах.

3.1. Влияние биоты

Следует ожидать, что глобальное потепление будет продолжаться неограниченно долго, если оно не будет приостановлено активными усилиями человеческого сообщества [4]. Ученые, входящие в Межправительственную группу экспертов по проблемам изменения климата (IPCC), показали, что при отсутствии значительных усилий, препятствующих выбросам парниковых газов, Земля после длительного периода стабильного климата будет входить в период быстрого и непрерывного изменения климата с небывалой скоростью в результате глобального потепления [5]. Климатологи и биологи в состоянии оценить последствия изменений температуры на Земле на 1 или 2 град. С; более значительные изменения температуры могут вызвать такие перемены климата на всей Земле, которые находятся вне области научного эксперимента и вне компетенции ученых. Никто не может с уверенностью предсказать, какие произойдут изменения в океанических течениях или как изменится климат в каком-либо месте земного шара при исчезновении льдов Арктики. Точно так же мы не можем предсказать, как это повлияет на животный мир в океане и на суше, на рыбный промысел, на перераспределение пахотных земель на континентах, на лесные массивы и, наконец, на здоровье людей. Вторая из трех рабочих групп IPCC, а именно «рабочая группа по изучению воздействия», сосредоточила усилия на этих проблемах [6]. Но это исследование, в котором сделан вывод, что будет столько же «выигравших», сколько и «проигравших», позволяет сделать предсказания только относительно первой половины следующего столетия и только в пределах, которые обусловлены существующими сегодня моделями. Возможно, что некоторые явления с положительной обратной связью, которые не были включены в мате-

матические модели климата, начнут играть существенную роль. Кроме того, модель не дает прогноза на длинные сроки. Проблема прогнозирования возможных последствий оказывается еще более сложной, если изменения происходят непрерывно и с ускорением, чем если они были бы остановлены вмешательством человека. В этом разделе мы постараемся доказать, что если антропогенные выбросы парниковых газов не будут приостановлены, то не будет никаких «победителей» при глобальном потеплении, и что ставка может оказаться более высокой, чем это обычно предполагается.

3.1.1. Источники двуокиси углерода и метана

Причины накопления теплоулавливающих газов не так хорошо определены, как обычно утверждается. Исходной причиной является промышленность, которая базируется на использовании ископаемого топлива в качестве источника энергии. Как недавно стало известно, за этот процесс ответственна также вырубка лесов [7]. Потенциально она может привести к существенному увеличению концентрации углекислого газа в атмосфере, если оставшиеся леса будут повсеместно истребляться [8]. Третьим источником углекислого газа в атмосфере является процесс гниения органических веществ в почве за счет нагревания [9]. Последний эффект потенциально представляет собою положительную обратную связь и является еще одним источником парниковых газов, влияющих на скорость и распространение потепления. Оценки климатологов относительно скорости потепления, как правило, предполагают, что основную роль играет сжигание топлива, а ускоряющееся истребление лесов и влияние потепления на дыхание растений и почвы не учитывается.

Эти процессы также могут заметно ускорить процесс потепления. Этот эффект является следствием большого запаса углерода, содержащегося в почве, особенно в лесных экосистемах. Он также зависит от изменений климата в таких экосистемах.

3.1.2. Запасы и потоки углерода в экосистемах

При оценке общего количества углерода, содержащегося в растениях и в почве, предполагают, что оно составляет приблизительно 2000 млрд тонн [10], т.е. в 3 раза больше, чем количество углерода, содержащегося в атмосфере сегодня. Распределение запасов углерода в различных зонах нашей планеты показано на рис. 1.3 в первой главе книги.

Запасы углерода в атмосфере и на суше (в основном в лесных зонах) поддерживаются ежегодными потоками углерода через наземные экосистемы. Углерод поглощается в виде двуокиси углерода из атмосферы, проходит через фотосинтез экосистемы и выбрасывается в атмосфе-

ру в процессе дыхания растений и почвы. Обычно считается, что в глобальном масштабе эти противоположные процессы находятся в равновесии. Воздушные течения так значительны и настолько размыты, что невозможно их измерить в полном объеме. Они оцениваются, в рамках поставленной задачи, приблизительно в 100 млрд т углерода ежегодно, т.е. немногим меньше одной седьмой атмосферного потока углерода.

Небольшие изменения в этих течениях, порядка 1—2%, которые происходят из года в год, лежат, вероятно, за пределами измерений. Однако за несколько лет изменения в составе атмосферы становятся заметными. Вопрос о том, каким образом эти течения могут меняться за счет перемены климата, является центральной темой этого анализа.

Другой парой потоков, связанных между собой, являются атмосфера и океан. Но эти потоки не находятся в равновесии: существует некоторая масса углерода, поступающая в океан из атмосферы, но реальное количество углекислого газа, поглощаемого океаном, трудно определить. Мы знаем, что масса потока, поступающего в океан, меньше, чем полная масса двуокиси углерода, выбрасываемого в атмосферу.

В результате мы наблюдаем постепенное накопление двуокиси углерода в атмосфере. Мы не будем здесь обсуждать обменные процессы с океаном. Кроме того, существуют потоки углерода, вызванные сжиганием угля, нефти и газа, т.е. ископаемого топлива. Этот поток имеет одно направление: топливо извлекается из земных недр; при его сжигании образуются двуокись углерода и метан, которые затем попадают в атмосферу. Ежегодный выброс углерода в виде двуокиси углерода в 1990 г. оценивался величиной 5,7 млрд т (с точностью плюс минус 0,5 млрд т) [11].

Выбрука лесов также способствует переходу углерода в атмосферу в процессе сжигания деревьев и за счет того, что остатки древесины, остающиеся в местах лесозаготовок, постепенно разрушаются и гниют. Количественная оценка выбросов углерода в атмосферу в ходе этих процессов весьма затруднена. При этом происходит выделение и двуокиси углерода, и метана, причем последний является продуктом анаэробного разложения. Количество углерода, поступившего в атмосферу в виде CO_2 за счет лесозаготовок, по данным за 1990 г. оценивается в 1,5—3,0 миллиарда тонн ежегодно [12].

3.1.3. Обратные связи: положительные и отрицательные

Потепление на Земле будет происходить за счет физических, химических и биологических процессов как локально, так и в глобальном масштабе. Центральный вопрос заключается в том, к быстрому или медленному потеплению приведет количественный эффект этих изменений. Отрицательная обратная связь будет снижать скорость потепления, если потепление начнет происходить более интенсивно; положи-

тельная обратная связь будет усиливать его. Такими обратными связями могут быть изменения облачности или снежного покрова, т.к. они влияют на коэффициент отражения земной поверхности и, следовательно, на количество поглощаемой ею энергии. Увеличение снежного или облачного покрова будет увеличивать коэффициент отражения, уменьшать количество удерживаемой солнечной энергии и уменьшать процесс потепления, т.е. создавать отрицательную обратную связь. Уменьшение коэффициента отражения поверхности Земли работает в обратном направлении, т.е. создает положительную обратную связь. Эти изменения учитывались климатологами, когда они проводили количественные оценки потепления.

Существует также вероятность, что изменения в океанической циркуляции океанов [5] будут влиять на скорость обмена двуокиси углерода в атмосфере с углеродом, содержащимся в различных модификациях в морской воде. Эти источники и другие, которые включает в себя биота, в меньшей степени поддаются прогнозу и не могут быть учтены разработчиками климатических моделей при оценке будущего потепления Земли. Все эти изменения привносят элемент неожиданности в результаты систематического анализа.

Существует, кроме того, целый ряд потенциальных отрицательных обратных связей, связанных с биотическими взаимодействиями. Можно предположить, что наиболее значительным эффектом является связывание и накопление углерода в наземных растениях за счет нарастания концентрации двуокиси углерода в атмосфере. Эта гипотеза предполагает, что присутствие CO_2 в атмосфере ускоряет фотосинтез. Данные, подтверждающие возможность такого механизма, в большинстве случаев основываются на экспериментах с растениями в лабораторных условиях [15], а также на ограниченных полевых исследованиях, как, например, проведенных на соляных болотах Дрейком (Drake) [16] и в тундре Эшелом (Oeschel) [17]. Эти данные показывают, что возрастание концентрации двуокиси углерода часто, но не всегда, приводит к увеличению скорости роста молодых растений. Этот эффект заметно снижается со временем, а также с возрастом растений. Он слабо заметен на деревьях в лесных массивах. Не существует никаких достоверных сведений, которые подтверждали бы наличие этого эффекта в природных системах несмотря на увеличение концентрации CO_2 в атмосфере на 25% в течение последнего столетия. Если такое явление имеет место и его воздействие достаточно, чтобы добавлять ежегодно 2 млрд т углерода в растения и почву, то изменение полной массы углерода составит всего 0,1%, что не поддается измерению. Непосредственные оценки тенденции накопления углерода в лесах и почве указывают на потери, происходящие из года в год, когда площади, занимаемые лесом, сокращаются и когда накапливаются загрязняющие и токсичные вещества. Другие эффекты стимулируют накопления углерода считаются незначительными; они не в состоянии скомпенсировать происходящее увеличение содержания двуокиси углерода в атмосфере и остаются вне пределов наблюдений или измерений.

Безусловно, существует вероятность, что потепление будет охватывать площади, занятые лесом, и в результате произойдет увеличение суммарного запаса углерода в растениях и почвах. Эти эффекты были проверены Вудуэллом [18], а впоследствии Лашофом [19], Эмануэлем (Emanuel) и др. [20] и Соломоном (Solomon) и др. [21]. Сомнительно, что могут сложиться такие обстоятельства, при которых непрерывное потепление, происходящее с прогнозируемой на последующие десятилетия скоростью, будет увеличивать зоны лесов на поверхности Земли. Более вероятен в действительности обратный процесс: потепление в центральных областях континентов будет увеличивать засушливые зоны по мере уменьшения лесных площадей. Количественно этот процесс трудно оценить, но увеличение температуры на один градус (1 град.С), при переходе от лесной к травяной зоне в Северном полушарии, могло бы сдвинуть эту границу перехода на 60–100 миль и таким образом заменить площадь в 100–200 млн га, покрытую лесом, на травяное покрытие. Такое огромное изменение в распространении леса привело бы к высвобождению углерода в количестве десятков миллиардов тонн, что создало бы чрезвычайно большую положительную обратную связь и привело бы к нарушению существующего равновесия путем экспансии лесных зон в области с более благоприятным для них климатом.

Наиболее важным вопросом при рассмотрении биотических обратных связей является соотношение между полным циклом производства (фотосинтезом) и суммарным дыханием биоты в глобальном масштабе. Под термином «полное производство» (gross production) подразумевается весь цикл фотосинтеза в растениях. Дыхание зеленых растений и всех животных, включая организмы, вызывающие процессы гниения, мы рассматриваем как совокупное полное дыхание экосистемы. Если суммарный фотосинтез превышает суммарное дыхание, то углеродсодержащие вещества аккумулируются в растениях и почвах. Если же в этих противоположно направленных процессах доминирует дыхание, то запасы углерода истощаются. Соотношение между этими иногда запутанными явлениями в экосистемах было подробно изучено Вудуэллом и Уиттейкером (Whittaker) [22].

Факторы, которые воздействуют на эти два процесса, включают в себя, в частности, свет, воду, питательные вещества и температуру. Вообще говоря, полный фотосинтез сильно подвержен влиянию дестабилизирующих процессов. В результате происходит сокращение полного фотосинтеза и чистого продукта (фотосинтез без дыхания зеленых растений), это стимуляция в чистом виде.

Условия, способствующие увеличению объема первичной продукции и эффективности процесса, обычно ограничены. Существенную роль играют свет, питательные вещества и вода. Температура влияет на этот процесс, но ее воздействие во всем диапазоне температур умеренное.

Вопрос состоит в следующем: как будет изменяться соотношение между процессами полного фотосинтеза и суммарного дыхания, если

Земля будет нагреваться. Как и в большинстве наук, однозначного ответа не существует. На основании экспериментальных исследований метаболизма лесов, проводившихся в течение нескольких лет, можно предположить, что преобладающим эффектом в интервале от коротких отрезков времени до десятилетий будет реакция на температуру: нагревание будет приводить к значительному увеличению скорости суммарного дыхания без заметного воздействия на полный фотосинтез [23]. Если это так, то будет иметь место увеличение выброса углерода в виде углекислого газа и метана из лесов и почв, в особенности на высоких широтах. В результате будет происходить ускоренное потепление. Доказательством этой гипотезы является аккумуляция. В подтверждение этому можно привести три линии доказательств: (1) основные экологические законы; (2) данные об изменениях, происходивших в течение ледникового периода и (3) наблюдаемые ответные реакции на происходящее потепление.

Во-первых, рассмотрим основы экологии. Два процесса обмена происходят одновременно, и мы хотим выяснить, который из них более важен. Наблюдается нарастание концентрации двуокиси углерода в атмосфере. Оно поддается количественной оценке; в настоящее время ее концентрация на 25% выше, чем в прошлом столетии. За это же время произошло потепление приблизительно на 0,5 град.С. Спрашивается, которое из этих изменений дало больший эффект? О потенциальных эффектах, приводящих к увеличению концентрации двуокиси углерода за счет увеличения скорости фотосинтеза, с одной стороны, и аккумуляции углерода в лесах, с другой, говорилось выше. Увеличение объема углерода, накопленного в лесах или где-либо еще, может быть следствием того, что полный фотосинтез превосходит суммарное дыхание. В условиях влажности возрастание температуры обычно приводит к увеличению интенсивности процесса дыхания на 10–35% при повышении температуры на 1 град.С. Это происходит как при дыхании растений, так и распаде органических веществ в почвах. Увеличение интенсивности дыхания растений приводит к уменьшению как чистого исходного продукта, так и чистого продукта экосистемы; увеличение скорости распада органических веществ в почве приводит к уменьшению чистого продукта экосистемы.

Хотя мы не располагаем полной информацией об экосистемах, известно, что в почвах северных лесов содержится количество углерода, достаточное для того, чтобы вызвать такую стимуляцию процессов разложения, которая равна или превосходит любую стимуляцию фотосинтеза, вызванную увеличением двуокиси углерода в атмосфере. Нет ничего несообразного в том, что как первичный продукт, так и полное дыхание стимулируются сочетанием возрастающего содержания двуокиси углерода в атмосфере, дополнительными осадками и повышением температуры, при этом чистый (нетто) эффект выражается в увеличении выбросов углерода из экосистемы, т.к. преобладает стимуляция процессов дыхания.

Выше нами уже обсуждался вопрос об ожидаемом перемещении границ лесных регионов, распространение которых определяется температурой и влажностью атмосферы, в случае глобального потепления. На этих меридианах ожидается сравнительно высокая скорость потепления, возможно 1 град.С за десятилетие, что эквивалентно перемещению лесной границы на 100-150 км в меридиональном направлении. Невозможно при этом предполагать, что лесные зоны будут восстанавливаться в каком-либо другом месте с эквивалентной скоростью. Результатом будет дальнейший выброс углерода в атмосферу по мере нарастающего потепления. Это рассуждение о лесах и ряд исследований тундры наводят на мысль, что существует большая вероятность того, что потепление будет стимулировать дыхание наземных экосистем, а также распад органических веществ в почве; в результате этого суммарный эффект будет достаточным, чтобы превзойти любую стимуляцию чистого первичного продукта. Этот эффект будет вызывать дальнейшее высвобождение углерода, если Земля будет нагреваться и если дыхание наземных экосистем будет увеличиваться. Результаты такого анализа подтверждаются данными, полученными при изучении керна с антарктической станции «Восток» [24], содержащего колонку древних льдов Антарктиды, образовавшихся за последние 160 тыс. лет [25]. Изучение этих образцов дало нам информацию о температуре и концентрациях двуокиси углерода и метана в течение всего периода (см. рис. 2.5; глава 2). Эти данные показывают, что когда растет температура, то концентрации метана и двуокиси углерода также растут. Если же температура падает, то начинают снижаться концентрации этих газов и в атмосфере. Такие наблюдения вполне согласуются с предположением о наличии положительной обратной связи: потепление однозначно связано с увеличением концентрации теплоулавливающих газов в атмосфере; охлаждение связано с уменьшением их концентрации. Но полученные данные не разъясняют причины потепления или охлаждения, или не указывают на причину перехода от тенденции потепления к обратной тенденции. Они, тем не менее, показывают, что в течение 160 тыс. лет доминирующее соотношение между температурой и концентрациями двух наиболее важных парниковых газов (CO_2 и CH_4) имело положительную корреляцию. Полученные данные не дают никаких оснований утверждать, что возрастание содержания двуокиси углерода в атмосфере будет ускорять процесс накопления углерода растениями и состав атмосферы будет стабильным; мы не можем также утверждать или допускать, что какие-либо другие эффекты с отрицательной обратной связью будут доминировать и остановят процесс потепления.

Анализ температуры Земли, проведенный в Университете Восточной Англии, а также в Институте Годдарда космических исследований (Goddard) (Колумбия), показал, что за прошедшее столетие Земля нагрелась приблизительно на 0,5-0,7 град.С. Пять наиболее теплых лет в последнем столетии приходятся на восьмидесятые годы [26]. 1988 год зарегистрирован как самый теплый год. Потепление внезапно прекра-

тилось, и этого было достаточно, чтобы начала подниматься скорость накопления двуокиси углерода и метана в атмосфере.

Резкие подъемы концентрации CO_2 , действительно, иногда происходят, в то время как аналогичных данных по метану не имеется. За последние 15 лет ежегодная аккумуляция двуокиси углерода в атмосфере составила 1,5 части на миллион (ppm). Такое накопление приблизительно эквивалентно 3 млрд т углерода ежегодно, т.е. немногим более 50% из того, что высвобождается только из ископаемого топлива, но намного меньше 50% выбросов углерода, вызванных антропогенной деятельностью [27].

Недавно было зарегистрировано увеличение скорости накопления углерода в атмосфере на станции слежения в Мауна Лоа и на Южном полюсе [28]. Наблюдения, проводившиеся по методу Килинга (Keeling) в течение 18 месяцев, позволили сделать вывод, что происходит ускорение накопления в 2,4 ppм, что эквивалентно ежегодному приросту углерода в 5 млрд т; это соответствует 60%-ому увеличению скорости накопления по сравнению с наблюдаемой ранее. Такой крутой скачок не является неожиданным, если принять во внимание потепление, наблюдаемое последнее десятилетие. Неожиданным оказалось отсутствие реакции на более ранние изменения как региональных, так глобальных температур. Возможно, рост скорости накопления углерода будет непрерывно продолжаться. Предыдущий скачок в 1973–1974 г. был быстропроходящим. Причина происходящего в настоящее время скачка концентраций является предметом для дальнейших размышлений и исследований.

Килинг и др. [29] и Зигенталер (Siegenthaler) [30] предполагают, что он вызван изменениями в метаболизме лесов, связанными с засухой, которая, в свою очередь, является следствием ряда изменений в океанической циркуляции Эль-Ниньо (El Nino), происшедших в последние годы. Хотя существует вполне объяснимая тенденция исследовать тонкости в очень сложных системах, потенциал влияния малейших изменений температуры на скорость регионального и глобального дыхания биоты весьма велик и может полностью перекрыть все эти тонкости. Последние исследования показали, что состав атмосферы может оставаться стабильным при увеличении выбросов углерода с 3 до 5 млрд т ежегодно.

3.1.4. Глобальное потепление как причина истощения биоты

Общее потепление, которое может вызвать среднее изменение в температуре Земли на 0,1–1 град.С за десятилетний период, превышает в 100–1000 и даже более раз адаптационные способности природных сообществ, например способность лесов к миграции [31].

Этот эффект приведет к быстрой гибели лесов до их перемещения в новые регионы. Отдельные виды животных погибнут, если естественные для них условия обитания и климат сместятся в новые области. Но будут погибать не только отдельные виды, но и целые генотипы, т.е. специфические комбинации генов, образовавшиеся в каждой определенной местности в ходе естественного отбора на протяжении многих поколений. При таких условиях лесные зоны обычно заменяются зонами кустарника, травяными зонами или саванной. Недавно был подробно исследован характер истощения флоры и фауны для ряда экосистем в разных точках земного шара [32]. Эффект таких смещений географических зон приводит к сокращению территорий, пригодных для жизни животных, а также людей. Эта редукция означает не просто уменьшение жизненного потенциала на Земле, но и систематическое обеднение земной фауны. Это не предвиденный ранее всплеск гибели биоты и недооцениваемый в настоящее время эффект дестабилизации глобального климата.

Такие переходные периоды вызывают появление новых видов, для которых эти условия являются благоприятными. При этом эволюционный процесс идет в сторону уменьшения размеров особей, которые обладают высокой репродуктивностью и захватывают большие ареалы. Среди растений это широко распространенные сорняки, которые растут в садах и других возделываемых местах; среди животных сюда относятся вредители и паразиты садов и жилищ.

3.1.5. Влияние на земледелие

Рабочая группа по изучению воздействия в составе IPCC сделала оптимистичное заключение, что производство продуктов питания в глобальном масштабе может и в дальнейшем поддерживаться на должном уровне в соответствии с мировыми потребностями, хотя и неизвестно, во что это обойдется. Можно только удивляться, если этот оптимизм оправдается вопреки неопределенности тех последствий, которые описаны выше.

Потребность в продовольствии является функцией стоимости. Тех, кто голодает, интересует не состояние мирового рынка; они испытывают недостаток мощности местного производства продовольствия. Хотя индустриализированное земледелие способно быстро реагировать на систематические изменения климата, которые всегда возможны [33], действительное потепление вызовет, скорее всего, целый ряд неожиданных последствий. Лето 1988 г. отмечалось необычной жарой и засухой во всей Северной Америке и в других местах, что привело к уменьшению урожая зерновых в Северной Америке приблизительно на 30% и повлияло на цены на зерно во всем мире. Мировые запасы были истощены до такой степени, что вызывало дефицит на рынке зерна и, соответственно, рост цен. Были умирающие от голода, как это

бывает каждый год; были люди, жившие на грани голода; были такие регионы, которые не были в состоянии закупать зерно по мировым ценам и не могли обеспечить себя сами.

В мире с населением в 5,3 млрд человек, где используются фактически все пахотные земли, трудно представить, что глобальное потепление при экстремальном росте температуры и влажности позволит людям легко приспособиться к новым условиям. Весьма вероятно, что производство станет неустойчивым в большинстве регионов, а спад производства станет систематическим, если центральные зоны континентов будут продолжать прогреваться. Нагрев приведет к засухе, и многие полагают, что влажность почв будет убывать, если потепление будет продолжаться.

Потеря в добыче зерновых культур можно ожидать в некоторых областях Земли, где в настоящее время их производство находится на высоком уровне, как, например, в Южной Европе, на юге США и в Западной Австралии. Ограниченное потепление в некоторых регионах средних и высоких широт, где ожидается увеличение осадков, может повысить производительность земледелия, по крайней мере на небольшой период. Существует, однако, опасное и вводящее в заблуждение намерение превратить Сибирь в зону выращивания зерновых культур, а леса сажать в тех областях, где не растут деревья. Если там и произойдут выгодные перемены в климате при определенных обстоятельствах, то на Канадском щите перестанут расти и леса, и зерновые культуры, как и в других обширных областях, покрытых северными лесами или тундрой. На низких широтах обычные сегодня урожаи будут чувствительны к увеличению засухи на больших территориях.

3.2. Другие эффекты от глобального потепления

3.2.1. Воздействие на водные ресурсы

Города, гидростанции, ирригационные системы, судоходство, изменения водных путей, транспорт, морские животные, рыболовство, циркуляция океанических и прибрежных вод — все это зависит от образующихся потоков пресной воды. Это взаимосвязь одновременно и простая, и сложная: мощность плотины в Бонневилле (Boneville), очевидно, зависит от дебита реки Колумбия, но не очевидно, будет ли зависеть интенсивность рыбного промысла на Рио-Негро и Амазонке от значительных сезонных колебаний водных потоков, которые затопляют леса на глубину до 10 метров за несколько недель и тем самым предоставляют громадные лесные просторы для обитания рыб. Такое влияние не менее реально.

Прогнозы изменений поверхностного стока ненадежны, как и других возможных последствий непрерывного потепления на Земле. В узком диапазоне, в пределах от 1 до 2 град.С нагрева Земли в целом, общая картина явлений кажется ясной. За пределами этого диапазона последствия потепления становятся неопределенными. Тем временем долгосрочные дорогостоящие проекты требуют дальнейшего прогнозирования выпадения осадков, результаты которого становятся сомнительными. Дамбы, ирригационные или другие сооружения, обеспечивающие водоснабжение, способные улучшить благосостояние человечества на период от нескольких десятилетий до ста лет и более, могут оказаться нереальными по причине радикального изменения картины выпадения осадков за несколько лет или десятилетие.

Вторая рабочая группа IPCC в своем докладе подчеркивает, что в наиболее опасном положении в отношении обеспечения населения продовольствием окажутся те области, которые уже сейчас страдают от засухи и мало рентабельны. В их числе имеются густонаселенные регионы, где годовой прирост населения в сумме составляет около 90 млн человек: Сахель, Северная Африка, Южная Америка, западные арабские страны, Юго-Восточная Азия, весь Индийский п-ов, Мексика, Центральная Америка, юго-западная часть США, часть Восточной Бразилии и другие зоны. Новейшие климатические модели убедительно показали картину распространения засухи от 5% в настоящее время, до 50% к 2050 г. Одна из проблем, которая вытекает из данных прогнозов — это нарастающая угроза как межнациональных, так и внутринациональных конфликтов, что должно учитываться в разрабатываемых инженерных проектах. Достаточно хотя бы рассмотреть борьбу за водные ресурсы реки Колорадо с целью их использования для ирригации, гидроэлектростанций и обеспечения городских потребностей, чтобы увидеть потенциальные опасности возникновения политических конфликтов.

В других областях неумеренное потребление воды вызовет новые проблемы. Вторая рабочая группа IPCC считает, что могут произойти крупномасштабные наводнения, например, во многих северных реках бывшего СССР.

3.2.2. Влияние на Мировой океан и на прибрежные зоны

Ученые IPCC на основании климатических моделей сделали заключение, что, если не предпринять мер для прекращения выбросов парниковых газов, то уровень моря поднимется в пределах 10–30 см (наиболее вероятно — на 20 см) к 2030 г., и в пределах 30–100 см (наиболее вероятно — на 65 см) к концу следующего столетия. Это повышение произойдет в результате увеличения объема морской воды вследствие нагрева и таяния ледников. Предполагается, что эффекты

от таяния Гренландского и Антарктического ледниковых щитов будут незначительными в течение следующего столетия. Другие ученые не разделяют мнения о том, что таяние антарктических льдов внесет незначительный вклад в повышение уровня моря; если это в действительности так, то уровень поднимется еще более. В случае, если ледяной щит западной Антарктиды будет разрушен, то глобальный уровень моря поднимется более чем на 5 метров. Эти анализы носят только предположительный характер, и локальные эффекты могут оказаться более весомыми, в зависимости от того, будут ли континентальные плиты в данном месте подниматься или опускаться.

Но допустим, что анализ, сделанный ИРСС, правильный. Тогда прогнозируемое приращение уровня моря будет происходить со скоростью, превышающей в 2 или даже в 10 раз ту скорость, с которой происходило повышение уровня моря в прошлом столетии (10–15 см за 100 лет). Рабочая группа по изучению воздействия ИРСС считает, что повышение уровня моря всего лишь на 30–50 см приведет к серьезным проблемам для стран, расположенных в низменностях или в прибрежных районах. Повышение уровня моря на 1 метр в конце будущего столетия, которое приводится в одном из прогнозов как максимально возможное, привело бы к перемещению человеческих поселений, разрушению инфраструктуры городов, лежащих в низменностях, затопило бы арабские страны, загрязнило бы воду в системах водоснабжения и у берегов. Прямое воздействие — перемещение береговой линии и влажных земель районов прилива и вторжение фронта соленых вод в устья рек, а также засоление пресноводных прибрежных акваторий. Все эти процессы глубоко затронут человеческое общество, особенно, густонаселенные прибрежные районы. При повышении уровня всего на 1 метр море залет 15% площади Египта и 14% урожайной земли Бангладеш. Эти проблемы касаются не только развивающихся стран. В юго-восточной части США, например, более половины видов промысловых рыб использует засоленные болотистые районы в качестве нерестилищ. Острова подвергнутся серьезным опасностям, и, соответственно, населяющие их народы.

3.2.3. Влияние на расселение и на общество

В будущем столетии сотни миллионов людей во всем мире будут вынуждены мигрировать из-за наводнений в низких прибрежных зонах, в дельтах рек и на островах, если не будут предприняты меры для уменьшения накопления парниковых газов в атмосфере или они окажутся безуспешными.

Рабочая группа по изучению воздействия ИРСС только кратко остановилась на проблемах спасения окружающей среды, когда отметила, что через лагеря и поселения мигрантов могут распространяться эпидемии, которые будут захватывать и соседние с ними населенные

районы. Столь массовые переселения могут быть вызваны распространением засухи и истощением флоры и фауны в местах обитания. Если проблема политических и экологических эмигрантов остро стоит в 1990 г. в мире с населением 5,3 млрд человек, то можно себе представить, какие размеры она приобретет к 2000 и 2100 гг., когда численность населения земного шара превысит 6 млрд?

Влияние глобального потепления на здоровье людей коснется не только развивающихся стран. Рабочая группа 2 ИРСС пришла к выводу, что в случае глобального потепления следует ожидать сдвига фактора заболеваемости и рождаемости в сторону северных широт. Это касается таких болезней, как малярия, шистосомоз, лейшманиоз (болезнь Боровского), лихорадка денге и японский энцефалит.



Восстановление стабильности глобального климата, безусловно, желательно и даже необходимо для развития цивилизации. Если на нашей планете будет происходить ускоряющееся потепление, то станет невозможным не только это развитие, но и просто сохранение человеческих популяций на современном уровне. Первым шагом в решении этой задачи должно стать обеспечение стабильного состава атмосферы в отношении концентрации теплоулавливающих газов, особенно, двуокиси углерода и метана.

Что же для этого необходимо? Как двуокись углерода, так и метан образуются в результате сжигания ископаемого топлива, оба этих газа выделяются также за счет полного дыхания биоты. Нарастание их содержания в атмосфере имело различный характер. Концентрация двуокиси углерода нарастала за прошедшее столетие по мере развития индустриализации и использования традиционных видов топлива, а также за счет массовой вырубki леса; концентрация метана в атмосфере удвоилась за прошедшие два столетия, и накопление этого газа происходит в настоящее время более интенсивно, чем ранее. Количество обоих этих газов в атмосфере определяется объемом выбросов и скоростью их удаления из атмосферы. Процесс удаления двуокиси углерода из атмосферы описан нами выше, удаление метана связано с окислением углерода. Количество окисляющегося метана является существенным фактором и может, как и другие факторы, влиять на изменения в атмосфере.

В нашем обсуждении, однако, главным вопросом является оценка нарастания интенсивности источников этих газов за счет процесса нагревания Земли. Увеличение скорости образования метана в почвах более чувствительно к потеплению, чем скорость образования двуокиси углерода. Увеличение температуры на 1 град.С может увеличить скорость выделения метана из почв на 50% и более. Контроль за содержа-

нием этих газов в атмосфере сводится к ограничению роста глобальных температур.

В данное время чистое годовое накопление двуокиси углерода в атмосфере колеблется в пределах 1,5–2,4 ррш от уже имеющегося количества, или, иначе говоря, от 3 до 5 млрд т углерода. Это количество чрезмерно велико и не может быть уменьшено естественным путем.

Для стабилизации содержания двуокиси углерода в атмосфере сегодня потребовалось бы немедленное уменьшение годовичных выбросов в 3–5 т углерода в виде CO_2 . Если представить себе, что это было осуществлено, то можно было бы увидеть результат через несколько лет; но если бы градиент диффузионного давления двуокиси углерода между атмосферой и поверхностью океана уменьшился бы, то так же эффективно уменьшилась бы диффузия в океаны. Дальнейшее ограничение выбросов было бы необходимо для поддержания постоянной концентрации в атмосфере во избежание ее возрастания. Этот эффект может быть еще большим настолько, насколько нагревание Земли влияет на интенсивность выбросов двуокиси углерода из наземных экосистем.

Мы располагаем ограниченными возможностями для уменьшения эмиссии CO_2 . Но мы можем и должны контролировать потребление ископаемого топлива, а также лесозаготовки. В нашей власти добиться восстановления лесных массивов и таким образом увеличить накопление углерода в расширяющихся лесных зонах. Создание запаса углерода в количестве одного миллиарда тонн в лесных массивах потребует от одного до двух миллионов квадратных километров новых лесных площадей и еще больше, если земли неплодородны. Такая акция могла бы внести значительный вклад в проблему стабилизации состава атмосферы. Но тем не менее, стабилизация будет невозможна без надлежащего контроля за расходом топлива, особенно, если мы хотим добиться долгосрочной стабилизации; для этого необходимо будет отказаться от ископаемых видов топлива в качестве источников энергии в промышленности и для всевозможных практических целей. Чем большее нагревание Земли мы допустим, тем более настоятельной будет эта необходимость.

3.4. Заключение

Процессы глобального углеродного цикла, который включает в себя различные факторы, определяющие интенсивность накопления углерода в атмосфере, недостаточно хорошо изучены. Остается вопрос, какова относительная роль двух противоположных процессов, определяющих состав атмосферы: с одной стороны, эмиссия углерода из лесов, с другой стороны, поглощение его океаном. Имеющиеся сегодня факты дают основание предполагать, что роль лесов будет существенно

доминировать в ближайшие годы и десятилетия; в то же время роль океана окажется значительнее на сроки от нескольких десятилетий до столетий [35].

Ускорение процесса потепления Земли будет значительно сокращать территории, занятые лесами. Потепление на 1 град. С и засуха ограничат распространение лесов и приведут к замещению 100—200 млн га леса на степные зоны. Потепление, кроме того, будет стимулировать выделение углерода в процессе гниения органических веществ в лесах и почвах; в результате этого углерод будет образовывать метан и двуокись углерода. Какой из других факторов окажется еще более существенным по своему влиянию на состав атмосферы, остается выяснить, но очевидно, что воздействие на лесные зоны в Северном полушарии будет значительным.

Наиболее весомо эти рассуждения подтверждаются данными, полученными при изучении ледяного ядра со станции «Восток». Исследования показали, что в течение последних 160 тыс. лет существования ледникового покрова Антарктиды имела место достоверная корреляция между изменениями температур и концентраций двуокиси углерода и метана в атмосфере. Хотя причины и следствия не могут быть однозначно выведены из этих данных, они заставляют нас предположить, что есть некоторый внутренний механизм в системе глобального климата, который стабилизирует температуру путем стабилизации состава атмосферы. Конечно, следует допустить существование других, более сильных факторов, определяющих этот эффект. Одним из таких факторов может быть изменение циркуляции в океане в сочетании с изменением способности поглощения или удерживания океаном двуокиси углерода. Тот факт, что изменение температуры и концентрации метана коррелируется с таковыми для двуокиси углерода, обычно используется как доказательство того, что океанический фактор в этом механизме не участвует [36].

Существует вероятность, что потепление будет распространяться до такого уровня, когда выбросы биоты достигнут величины, за пределами которой человечество не сможет оказывать влияние на этот процесс. Если это произойдет, то потепление Земли окажется неконтролируемым никаким из рассмотренных способов. Мы не знаем, насколько далеко сейчас находимся от этой критической точки, поскольку не владем детальной информацией о процессе циркуляции углерода в углеродном цикле, и не сможем разрешить эти вопросы в ближайшем будущем. Тем временем концентрация газов в атмосфере, ответственных за удержание тепла, будет продолжать расти.

Умеренные мероприятия при таких обстоятельствах должны состоять не в том, чтобы поддерживать установившийся процесс, а в том, чтобы изменить течение процесса в нужном направлении.

Но проблема становится более сложной по мере дальнейшего нагревания Земли. Не существует более простого ее решения, чем уменьшение интенсивности эмиссий двуокиси углерода, метана и других антропогенных парниковых газов (фреоны и окись азота). Дву-

окись углерода хорошо известна как результат сжигания ископаемых видов топлива, а также как результат процессов в биоте; источником метана в меньшей степени является сжигание топлива, но в значительно большей степени процессы, происходящие в биоте, причем только часть последних связана с уничтожением лесов. Оба источника обладают большим потенциалом для нагревания Земли. Уменьшение полной эмиссии парниковых газов не может быть реализовано без решительного сокращения потребления ископаемых видов топлива и без прекращения уничтожения лесов. Задача может быть облегчена, но не полностью разрешена широкомасштабной программой восстановления лесных зон. Нет других возможностей регулировать скорость потепления Земли, но необходимо сосредоточить усилия на стабилизации состава атмосферы.

Для осуществления стабилизации потребуется немедленное уменьшение процесса накопления углерода от 3 до 5 млрд т в год. Следовательно, необходимо отказаться от сжигания ископаемых видов топлива. Чем скорее мы пойдем по этому пути, тем больше у нас будет надежды на успех. Если не предпринять указанных мер, то разрушение среды обитания человека будет быстро прогрессировать со всеми вытекающими отсюда экологическими и социально-политическими последствиями.

Глава 4

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА — ПОЛИТИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Жозе Голдемберг (Jose Goldemberg)

«...Если затраты на страхование от последствий изменения климата поделить между всеми странами пропорционально их суммарным расходам на все виды страхования, то для США это составило бы дополнительно 4,5 млрд долл., или на 1,2% больше того, что тратится сейчас... Сумма, требующаяся для функционирования подобного фонда в мировом масштабе (около 30 млрд долл. ежегодно), может быть собрана в результате дополнительного налогообложения каждого барреля потребляемой в мире нефти всего лишь на 1 доллар...»

Работа Стефана Шнайдера, посвященная проблеме увеличения выбросов газов, ведущих к усилению парникового эффекта, четко доказывает, что наша планета находится на пороге серьезных изменений климата, имеющих важнейшее значение. Эти изменения могут произойти в ближайшие несколько десятков лет, и охватят они прежде всего Северное полушарие. Если и дальше не ограничивать выбросы ПГ, то климатические перемены заявят о себе повышением среднегодовой температуры на 1,5–4,5 град.С при каждом удвоении концентрации двуокси углерода в атмосфере, а также изменениями в режиме круговорота воды и глобальной атмосферной циркуляции. Кроме того, окончательно истощится озоновый слой стратосферы.

Работа Джорджа Вудуэлла (George Woodwell) с неменьшей убедительностью доказывает, что среди последствий климатических изменений обязательно будет иметь место подъем уровня моря с катастрофи-

ческими результатами для множества людских поселений. Кроме этого, нам предстоят существенные перемены в сельском хозяйстве и серьезные изменения лесных массивов на всех материках Земли.

Поэтому сейчас необходимо тщательно проанализировать наши возможности избежать этих перемен или приспособиться к ним. Реакция общества на последствия парникового эффекта может быть двойной: адаптационные процессы, когда людям придется покидать обжитые местности и приспосабливаться к новым условиям окружающей среды; и превентивные меры, или стратегия противодействия, когда будут предприниматься попытки свести до минимума антропогенные изменения климата Земли путем устранения причин этих изменений.

В прошлом изменения климата происходили неоднократно, и наша окружающая среда — и все живое сегодня — есть результат эволюционного приспособления к этим процессам. Но нынешняя ситуация беспрецедентна в истории Земли, так как эмиссии ПГ могут поднять среднюю глобальную температуру воздуха за несколько десятилетий, в то время, как для естественного повышения температуры на те же величины требовалось не менее нескольких тысячелетий. Беспрецедентна, таким образом, не абсолютная величина грядущих изменений, а скорость их нарастания.

Одним из наиболее очевидных стратегических решений является повсеместное строительство дамб, защищающих прибрежные заселенные зоны, как это делается уже столетия в Голландии с целью освобождения земель от водного покрытия и рекультивации их в сельскохозяйственных целях. Этот опыт может быть использован другими странами, например Бангладеш, большая часть территории которой расположена почти на уровне моря. Другим примером стратегического решения может служить плановая перестройка ведения сельского хозяйства в условиях нарастающих среднегодовых температур. Расположение плодородных земель и урожайность определенных агрикультур может существенно измениться в ряде регионов мира в результате перемен в водном балансе атмосферы и климата в целом. Так, вполне допустимо ожидать, что такой регион, как Средний Запад США — в настоящее время один из крупных мировых поставщиков зерна — может оказаться в числе засушливых территорий, как это временно имело место в середине 30-х гг. В результате сельскохозяйственная география США может вынужденно измениться, и это потребует существенных материальных затрат.

Жизненные ресурсы и приспособляемость человеческого рода являются предметом научных дискуссий, при этом многие склоняются к выводу, что, учитывая технологический вклад в эти величины, они достаточно велики. В этом случае вопрос упирается в количественную оценку грядущих изменений, в том числе в оценку затрат на адаптацию. Например, выдержит ли Голландия затраты на строительство дамб, защищающих ее территорию от затопления, если учесть, что это строительство может стать бесконечным? Даже если США могут переместить производство зерна в северные штаты, то во что это обойдется?

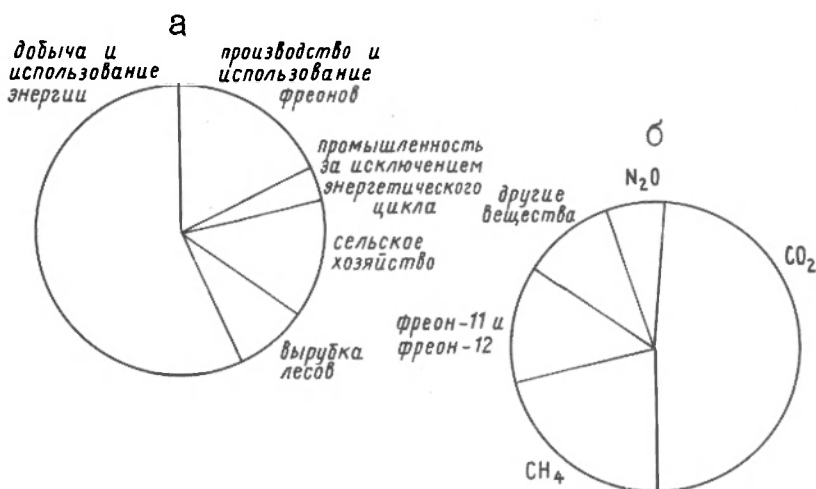


Рис. 4.1. Вклад в развитие парникового эффекта: а) по видам хозяйственной деятельности; б) по основным ПГ. Источник: Lashof, Tirpak [2].

Опубликованные оценки стоимости адаптационных мероприятий в мировом масштабе лежат в пределах от 500 до 1000 млрд долл. на ближайшие 30 лет [1]. При этом имеется в виду, что стратегия противодействия вообще не проводится в жизнь и, соответственно, не финансируется. Упомянутые оценки довольно грубы, но они основаны на накопленном опыте и вряд ли ошибочны более чем в два раза.

Кроме того, решение ряда проблем не исчерпывается прямыми финансовыми затратами. Например, экстенсивное переселение больших контингентов людей. В ряде случаев это проблема геополитического уровня, не говоря уже об огромном числе сложностей, возникающих в случаях, когда в их решение вовлечены сотни миллионов участников. Вполне реальной представляется перспектива увеличения риска региональных конфликтов при широкомасштабном переселении людей в таких странах, как, например, Индия.

Стратегия превентивных мер основана на глубоком понимании причин, вызывающих парниковый эффект и состоит в последовательности действий, устраняющих эти причины. Наш уровень знаний [2] позволяет заключить, что антропогенный парниковый эффект на 57% обусловлен добычей и потреблением энергии, на 9% — исчезновением лесов, на 14% — сельскохозяйственной деятельностью и на 20% — промышленным производством, не связанным с энергетическим циклом (рис. 4.1). Относительный вклад некоторых ПГ показан на рис. 4.1 (прав.).

Очевидной представляется стратегия исключения из хозяйственной деятельности или сведения к минимуму тех процессов, которые вносят максимальный вклад в развитие парникового эффекта — это прежде всего выбросы двуокиси углерода. Что можно сказать по поводу

количественных оценок подобных мер и, прежде всего, возможных затрат? Как будет показано ниже, затраты вполне сравнимы с таковыми для адаптационных мероприятий (500–1000 млрд долл.). Коренное отличие в том, что можно избежать огромной доли риска, возникающей при принятии только стратегии приспособления.

Выдвигается тезис о том, что резкое сокращение производства энергии серьезно затруднит экономический рост в промышленно развитых странах [3]. Но, с другой стороны, использование энергосберегающих технологий несет, кроме сокращения выбросов CO_2 , много других выгод, а именно: снижение зависимости от импорта нефти; отказ от развития ядерной энергетики со всеми ее проблемами безопасности и влияния на окружающую среду; гораздо более высокий уровень достаточности собственных энергетических ресурсов и технологий [4].

4.1. Принятие решений в условиях неопределенности

Наличие двух аспектов стратегии действий, связанных с проблемой глобального потепления подводит нас к вопросу о том, как принимать решения в условиях, когда с научной точки зрения решение сталкивается с рядом неопределенностей. Многие защищают тезис о том, что глобальное потепление и его последствия — это уже неопределенность сама по себе, и, стало быть, надо ждать, пока моделирование климата не станет настолько точным, чтобы предсказывать будущие изменения достаточно достоверно.

Эта позиция довольно уязвима, поскольку реальная практика принятия решений на высоком правительственном уровне показывает, что решения, как правило, принимаются перед лицом значительного набора неопределенностей. Хороший тому пример — решение президента Рейгана приступить к реализации стратегической оборонной инициативы (СОИ). Эта военная инициатива требовала огромных затрат при наличии жесткой критики самих основ ее проектирования со стороны многих ученых, и, тем не менее, решение было принято. Требовать определенности в предсказании отдаленных последствий глобального потепления до начала активных действий — опасно, поскольку, когда это требование будет удовлетворено в условиях заметных изменений параметров атмосферы, действовать будет либо поздно, либо это потребует таких затрат, которые мировое сообщество просто не в состоянии будет себе позволить.

Если начать принимать меры достаточно рано, то, во-первых, действия будут приемлемы для большего числа их участников; во-вторых, это обойдется дешевле, а в-третьих, можно будет достичь, во всяком случае, следующих результатов: прекращения кислотных дождей, сокращения озоновых дыр и уменьшения фотохимического смога.

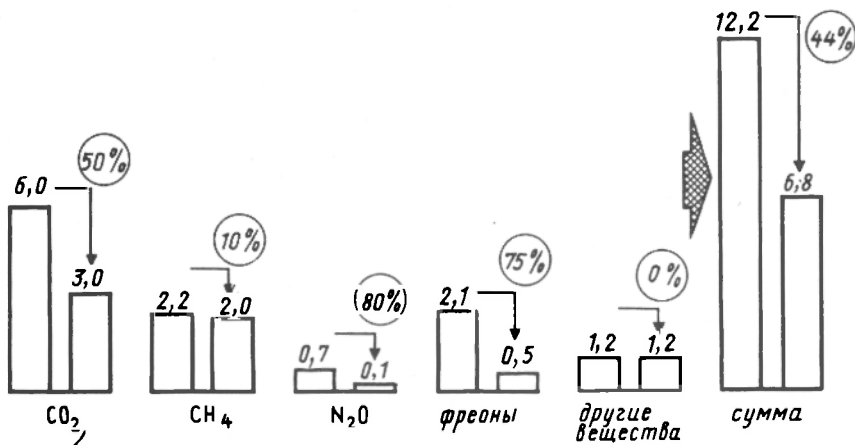


Рис. 4.2. Грубые оценки необходимого снижения выбросов: минимальный уровень снижения антропогенных эмиссий для стабилизации концентраций ПГ в атмосфере на современном уровне. Объемы выбросов даны в пересчете на CO₂ и выражены в Гт углерода [16].

4.2. Что нужно для борьбы с парниковым эффектом?

Антропогенный парниковый эффект (то есть, та его часть, которую вносит в этот процесс сознательная деятельность человека) можно рассматривать как возмущающий фактор в системе, пребывающей в состоянии равновесия. Следовательно, возникает вопрос — как восстановить равновесие — стабилизировать выбросы? Уменьшить их? Если да, то насколько?

Чтобы ответить на эти вопросы, достаточно воспользоваться классическими моделями климата и выяснить, каково должно быть снижение эмиссий ПГ, чтобы избежать изменения состояния атмосферы. Эта попытка и была предпринята Агентством по охране окружающей среды США (EPA) [5], а также в работе Болина (Bolin), который резюмировал результаты исследований ряда ученых-климатологов [6]. Выводы этих двух исследований во многом схожи.

Поскольку разные ПГ вносят разный вклад в развитие парникового эффекта, возможно несколько комбинаций одновременного снижения эмиссий некоторых газов для достижения желаемого эффекта. Таким образом, появляется возможность выбора как среди самих газовых примесей, так и среди временных масштабов снижения их выбросов.

По оценкам EPA, для стабилизации состояния атмосферы на нынешнем уровне необходимо снизить объемы выбросов следующим образом:

— двуокиси углерода на 50-80% ;

- метана на 10–20% ;
- хлорфторуглеродов (фреонов) на 75–100% ;
- окислов азота на 80–85% ;

В настоящее время суммарные выбросы углерода составляют 12,2 Гт в год. Они должны быть снижены к 2005 г. на 5,4 Гт в год (рис. 4.2). При вычислении количества углерода исходили из содержания CO_2 . Фреоны выбрасываются в небольших количествах, но они вносят весьма существенный вклад в развитие парникового эффекта.

4.3. Минимальные оценки снижения антропогенных эмиссий, необходимого для стабилизации климата

Оценка ученых IPCC необходимых действий, направленных на преодоление нежелательных последствий парникового эффекта и предполагаемых результатов этих действий представлена в табл. 4.1 [7]. Рис. 4.1 четко иллюстрирует связь между потреблением энергии и развитием парникового эффекта. В таблице не менее ясно показана потенциальная роль энергетического цикла в предотвращении последствий этого явления.

Таблица 4.1.

*Варианты стратегии противодействия
и их потенциальный результат (предотвращение
повышения среднегодовой температуры)
по докладу Второй сессии комитета
3-й Рабочей группы IPCC (май 1989)*

Варианты стратегии	Среднее снижение температуры (град. С)
Запрещение выпуска фреонов	—0,52
Прекращение сведения лесов	—0,20
Восстановление лесов (*)	—0,20
Замена угля и нефти газом	—0,28
Консервация энергии	—0,45
Итого	—1,65

(*) 500–1000 млн га

Подземная добыча угля всегда была процессом, сопряженным с риском для жизни и загрязнением среды. Это было ясно еще в пятнадцатом веке, но все же в то далекое время сжигание угля не представляло столь заметной угрозы для состояния атмосферы. Сегодня сжигание огромных масс угля, нефти, газа и дров представляет собой серьезнейшую опасность для окружающей среды. Кроме парникового эффекта, вызываемого, прежде всего, эмиссиями двуокиси углерода и

метана в атмосферу (последние — результат утечек из систем газоснабжения), сюда же относятся окислы серы и азота, которые являются причиной смога, кислотных дождей и массы других негативных последствий. 40% вклада в развитие парникового эффекта вносит именно углекислый газ, который практически невозможно уловить на фильтрах или каким-либо другим простым способом.

Без сомнения, энергия — важнейшее и необходимое условие развития, и потребность в повышении ее производства еще очень велика для большинства стран мира, стремящихся достигнуть уровня высокоразвитых государств. Достаточно вспомнить, что в США ежегодно потребляется 7,2 тонны нефтяного эквивалента топлива (ТНЭ) на душу населения, чтобы понять, какое значение имеет энергия для

Таблица 4.2.
*Показатели потребления энергии на душу населения
и на единицу продукции (1986)*

Страны	Насе- ление (млн. чел.)	Общее по- требление энергии (МегаТНЭ)	ТНЭ на душу на- се- ления	ТНЭ на 1000 долл. продукции	ВВП на душу на- селения (долл.)
ОЭСР (OECD) (страны Организации экономического содру- жества и развития)	818	3855	4,71	0,38	12119
США			7,2	0,41	17480
Япония			3,2	0,20	12840
ФРГ			4,5	0,30	12080
Франция			3,6	0,28	10720
Великобритания			3,8	0,46	8870
Италия			2,5	0,24	8550
Развивающиеся	3830	1915	0,5	0,59	680
Бразилия			0,8	0,55	1810
Индия			0,2	0,80	290
Мексика			1,2	0,78	1860
Корея			1,4	0,60	3370
Китай			0,6	2,12	330
Страны плановой экономики	475	2040	4,3	0,61	6749
СССР(*)			4,9	0,62	7340
ГДР (*)			5,9	0,56	10234
ЧССР(*)			4,8	0,55	8500
ВСЕГО	5123	7810			

(*) по курсу доллара 1985 г.

Источники: Статистический обзор мировой энергетики, подготовленный компанией «British Petroleum»; данные МБРР; Доклад ООН по мировому развитию (1988); Справочник по экономической статистике (1987).

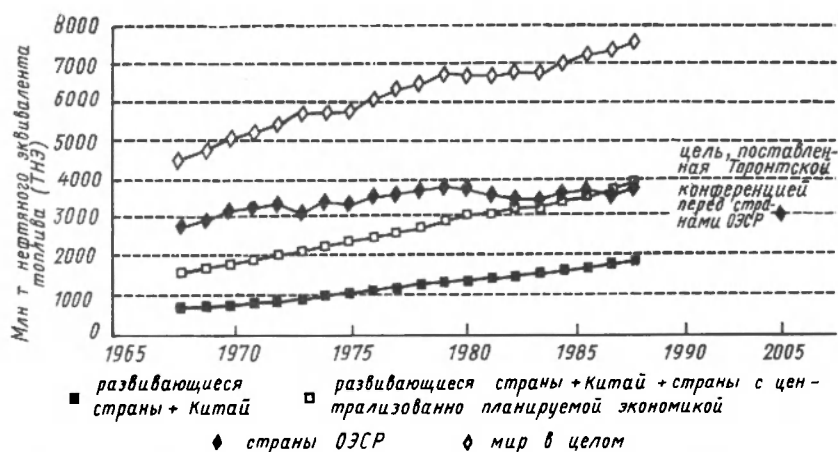


Рис. 4.3. Мировые уровни коммерческого потребления энергии, 1968–1987 гг.

уровня жизни. Для сравнения — среднедушевое потребление энергии в развивающихся странах — на порядок ниже названной цифры (табл. 4.2).

Потребление энергии в США и других промышленно развитых странах (прежде всего, в странах ОЭСР) (ОЭСР — Организация экономического сотрудничества и развития) достигло в настоящее время уровня насыщения. Оно почти не увеличивалось с середины 70-х гг., хотя валовой национальный продукт в этих странах продолжал расти. Правда, совсем недавно отмечен новый виток роста потребления энергии. В менее развитых странах (в том числе, в Китае) потребление энергии в тот же период неуклонно возрастало, и ничто пока не указывает на приближение к уровню насыщения (рис. 4.3).

Сказанное вполне применимо к странам с плановой экономикой (бывший Советский Союз и другие страны Восточной Европы).

Политическое руководство и народы развивающихся стран стремятся к экономическому росту, считая при этом, что этот рост находится в прямой зависимости от уровня добычи и потребления энергии. Под этим подразумевается повторение пути, пройденного развитыми странами в области совершенствования энергетического цикла. Кроме того, в ряде развивающихся стран активно продолжают сводить лесные массивы (в основном в Африке), поскольку дрова — неотъемлемая часть их топливной структуры (большой частью, для бытовых нужд) [8]. Сведение лесов вносит свой вклад в увеличение эмиссий углекислого газа в атмосферу, и многие считают этот процесс неизбежной данью развитию.

Решение проблемы парникового эффекта в первом приближении, по-видимому, связано с мерами, ограничивающими потребление энергии (и, соответственно, уменьшающими выбросы двуокиси углеро-

да), а также с мерами по прекращению уничтожения лесных массивов и их восстановлению там, где это представляется возможным. Действия такого рода (исключение источника проблемы) уже предпринимаются в отношении производства фреонов, или хлорфторуглеродов. В данном случае реакция мирового сообщества была очень быстрой, поскольку влияние фреонов на размеры озоновой дыры над Антарктикой выглядело весьма драматично. Фреоны ответственны не только за разогрев земной атмосферы — они способствуют увеличению интенсивности ультрафиолетового излучения, попадающего на поверхность планеты. Решение о резком ограничении производства фреонов — и недавнее подписание документов об их полном исключении из производства — очень веское доказательство того, что механизм международных соглашений может работать весьма эффективно. Тем не менее, это решение было блокировано в ряде развивающихся стран, прежде всего в Индии, чье правительство заявило о присоединении к Монреальскому протоколу только на условиях полной компенсации потерь от свертывания производства фреонов, а также импорта технологий, способствующих замене этих веществ на безвредные. Для достижения конечной цели Монреальского соглашения предстоит еще очень много поработать.

Стоит отметить, что установление лимитов на выбросы других ПГ может оказаться еще более сложной проблемой. Несмотря на широкое использование фреонов, их производство все-таки сосредоточено в руках сравнительно небольшого числа компаний, а большинство ПГ выбрасываются из несметного числа источников самого разного происхождения.

4.4. Способы решения проблемы парникового эффекта

4.4.1. Обзор механизмов охраны окружающей среды

Попытки воздействия на предприятия, загрязняющие окружающую среду, предпринимаются с начала 70-х гг., прежде всего в странах ОЭСР. Принцип «загрязняющий платит» [10] был первой попыткой такого рода. В соответствии с этим принципом в конечную стоимость продукции включались издержки за вредные выбросы и стоки. Многие ожидали, что практика применения этого принципа станет своего рода панацеей от экологических бедствий. Но, как отмечено в обзоре ОЭСР за 1989 г. [11], «...субъекты экономической деятельности вполне естественно рассматривают вопросы затрат и прибыли исключительно в своих интересах... Экологические аспекты экономических

процессов, в особенности те из них, которые несут оттенок социальных проблем, отнюдь не исчерпываются вопросами затрат и прибылей, решаемых компаниями, загрязняющими природную среду... Механизм рыночных отношений приводит к тому, что часть материальной ответственности приходится нести нижнему эшелону участников экономического процесса, поскольку рынок имеет тенденцию к перекладыванию издержек на других или на будущее...» Вследствие этого возникла идея «создать общественные структуры, ответственные за качество окружающей среды и вооружить их средствами, которые способствовали бы достижению поставленных целей при решении экологических проблем».

За 15 лет между 1973 и 1988 гг. разработан ряд механизмов, препятствующих загрязнению окружающей среды. Некоторые касаются исключительно экономических рычагов регулирования, другие связаны с вводом в силу различных юридических норм. В странах ОЭСР наиболее эффективно используются следующие [12]:

- Начисления (единовременные административные или в виде гибкой налоговой системы, применяемой по отношению к компаниям, ответственным за загрязнения);
- Субсидии (в форме дотаций, льготных ссуд, налоговых льгот);
- Системы возмещения затрат, связанных с деятельностью по изоляции загрязнений окружающей среды;
- Продажа прав на выбросы (когда права на определенный объем выбросов загрязняющих веществ продаются предприятиям на аукционной основе);
- Принудительное стимулирование (штрафы или возмещаемые принудительные вычеты).

Несмотря на некоторые успехи природоохранной деятельности ряде стран, общее положение еще далеко от желаемого. Во Франции, например, «...весьма трудно добиться финансирования из общественных статей бюджета, поскольку оно производится на основе наличия прецедентов, когда дело касается проблем охраны окружающей среды. Промышленность активно противостоит любым новым формам обложения, даже при наличии практики возврата затраченных средств обратно в этот сектор экономики. По этим причинам системы финансового стимулирования тесно связаны с системами выплат. Политика любого сектора экономики в отношении качества вод, атмосферного воздуха, размещения отходов, шума и т.п. зависит от его собственного источника средств, распределяемых на региональном или локальном уровне» [13].

Применение на практике принципа «загрязняющий платит» в отношении парниковых газов наводит на мысль, что нужен специальный налог на выбросы углеродсодержащих соединений («углерод-

ный налог»). Субъектов такого налогообложения — бесчисленное множество, в отличие от производителей фреонов, и их идентификация представляется весьма трудоемким процессом. Есть простой выход — поднять цены на углеродсодержащие энергоносители (уголь, нефть, газ), начиная с первых стадий их добычи.

Строго говоря, этот рычаг не вполне экономический, он требует ратификации на правительственном уровне. Мало того, необходимы международные договоры, поскольку односторонние действия такого рода часто неприемлемы для руководства ряда стран, в частности для США и Японии, поскольку это может сказаться на конкурентоспособности национальной промышленной продукции.

В качестве альтернативы можно предложить увеличение затрат на потребление топлив. Пример с ценами на бензин показывает, что этот механизм может и не сработать. На деле владельцы автомобилей не так уж и задевают цены на бензин, поскольку они составляют около 10% от общих затрат на покупку, обслуживание и страховку машины. Следовательно, чтобы этот механизм сработал, цены на нефть придется удвоить, если не утроить по сравнению с нынешним уровнем [14].

Выдвигается много предложений, направленных на ограничение энергопотребления в промышленно развитых странах с помощью рыночных механизмов, чему должен способствовать определенный уклон в сторону либерализации в политике этих стран. Некоторые из этих предложений с определенным успехом внедрены в США — это прежде всего комплекс мер по консервации энергии [15]. Проблема здесь в том, что цены на электричество устанавливаются в зависимости от мощных и хорошо функционирующих источников средств, таких, как муниципальные и государственные. Для перестройки финансовой структуры этих цен необходимы совершенно новые финансовые схемы — только тогда будет дан серьезный толчок к стимуляции энергосберегающей деятельности.

4.4.2. Углеродный налог

В связи с вышеизложенным ясно, почему большинство предложений так или иначе содержит мысль о введении так называемого углеродного налога с целью создания специального фонда для борьбы с эмиссиями углекислого газа в атмосферу. Прикинуть возможную величину подобного налога помогают оценки, сделанные в докладе о превентивной стратегии, подготовленном к Нордвикской конференции группой Маккинси (McKinsey), официальными консультантами правительства Дании [16]. Оценки затрат были произведены для следующих акций:

- Продолжение финансирования процесса исключения фреонов из мирового производства: первоначальные затраты 150–200 млн долл. ежегодно и 600–700 млн долл. ежегодно при стопроцентном прекращении производства фреонов;
- Расширенное воспроизводство лесов: до 10–15 млрд долл. ежегодно на восстановление 12 млн га лесов при цене восстановления 1 га около 1000 долл.;
- Финансирование консервации ископаемого топлива: порядка 10–15 млрд долл. в год. Оценка базируется на предварительных подсчетах стоимости мер по консервации энергии в развивающихся странах.

Сумма, необходимая для работы фонда (около 30 млрд долл. ежегодно), легко может быть собрана при дополнительном налогообложении каждого барреля нефтяного эквивалента топлива всего лишь на 1 доллар. Поскольку существуют много форм консервации энергии, и в ряде случаев эта деятельность приносит прибыль — при условии взятия барьера первоначальных вложений, то фонд в дальнейшем может расти за счет собственной прибыли и достичь больших размеров по сравнению с оценками, сделанными в докладе Маккинси и др. Например, замена устаревших ламп накаливания на современные флюоресцентные светильники требует высоких первоначальных затрат, которые, однако, быстро окупаются за счет существенной экономии электроэнергии на единицу освещенности.

В США был разработан сценарий введения такого налога (доклад ЕРА [17]). Предлагаемые его величины таковы: 25 долл. за тонну угля, 6 долл. за баррель нефти, 0,50 долл. за миллион куб. футов газа. Коалиция по глобальным климатическим проблемам — мощная группа давления, представляющая интересы производителей энергии из ископаемого топлива [18], опубликовала свою оценку результатов введения упомянутого налога. По этой оценке тариф на электроэнергию вырастет на 20% (при нынешнем уровне 5,8 цента за кВт·ч), цены на бензин — на 17–20 центов за галлон, а ежегодная плата за центральное отопление — на 85–100 долл.

С другой стороны, на одной из встреч IPCC Кайя (Кауа) утверждал, что попытки отдалить во временном отношении удвоение концентрации двуокиси углерода в атмосфере приведут к снижению валового национального продукта развивающихся стран [19]. Согласно утверждению Кайя, сведение к нулю увеличения выбросов углекислого газа, то есть замораживание нынешнего уровня объема выбросов, приведет к понижению темпов роста валового национального продукта до 1,4% в год (современные темпы роста составляют в среднем по странам ОЭСР 3,1% в год). Чтобы достигнуть цели, поставленной Торонтской конференцией [20] — снижать эмиссии двуокиси углерода на 1% в год, по той же оценке придется снизить ежегодный прирост валового национального продукта до 0,4%.

Таблица 4.3.
Эмиссии CO₂ и экономический рост
по результатам анализа, проведенного Кайя

Вариант	Следствие	Рост ВВП (% в год)
Сохранение современного состояния дел	Удвоение концентрации CO ₂ в атмосфере к 2030 г.	3,1
Полное замораживание роста эмиссий CO ₂	Удвоение концентрации CO ₂ в атмосфере к 2090 г.	1,4
Цель Торонтской конференции (снижение эмиссий CO ₂ на 1% в год)	Уменьшение концентрации CO ₂ в атмосфере на 20% к 2005 г.	0,4

Представители Японии и США в IPCC отметили в связи с данными Кайя, что их страны потерпят некоторый ущерб при введении в силу международного договора, устанавливающего лимиты на эмиссии углекислого газа: Япония — в связи с тем, что она уже внесла свой вклад в это дело, уделяя много внимания развитию энергосберегающих технологий, а США — в связи с тем, что американское правительство вряд ли пойдет на удорожание энергоносителей, в частности бензина, который в настоящее время продается там по очень низким ценам. Великобритания тоже склоняется к этой позиции, аргументируя это тем, что наиболее простые способы консервации энергии уже находятся в действии в странах ОЭСР. Действительно, с 1973 г. по 1985 г. в этих странах темпы роста потребления энергии упали на 21%, хотя с 1985 г. по 1988 г. падение замедлилось до 4,7% [21].

Тем не менее, ряд других стран, включая Швецию и Нидерланды, добился гораздо более серьезных успехов в деле ограничения энергопотребления и сейчас очень активно выступает за введение мер, в том числе финансовых, по ограничению выбросов двуокиси углерода и других парниковых газов.

Доклад Кайя, как и некоторые другие новые работы, представленные Мэнном и Ричелом, США (Mann and Richel) [22], подверглись серьезной критике со стороны Уильямса (Williams, [23]), в связи с тем, что, по его мнению, они не учитывают структурных изменений в экономике. Подобные изменения могут ускорить процесс уменьшения зависимости между ростом ВВП и энергопотреблением, как это уже имело место незадолго до нефтяного кризиса 70-х гг. Такая тенденция отмечалась Страутом (Strout, [24]) много лет назад.

4.4.3. Страховой фонд

Альтернативой углеродному налогу могло бы стать учреждение страхового фонда для поддержки затрат, связанных с проведением в жизнь превентивных и/или адаптационных мероприятий. Структура

мировых затрат на выплаты из страховых фондов представлена в табл.4.4. Объем денежных средств, выплаченных в США по договорам страхования жизни и имущества, составил в 1986 г. 71 млрд долл. (это 43,2% мировых выплат по страховкам и почти 8,84% от ВВП США). Объем мировых выплат составляет около 850 млрд долл.

Если бы кто-то вознамерился организовать фонд объемом 1 трлн долл. за ближайшие 30 лет, то для этого понадобилось бы 21 млрд долл. ежегодно (учитывая трехпроцентный рост капитала). Эта сумма на деле составляет 2,5% от ежегодных мировых выплат по страховкам [25]. Если затраты на страхование от последствий изменения климата поделить между всеми странами пропорционально их суммарным расходам на все виды страхования, то для США это составило бы дополнительно 4,5 млрд долл., или на 1,2% больше того, что тратится сейчас.

Таблица 4.4.

Структура мировых выплат по договорам страхования

Страны	Объем выплат млрд долл.	Относительный объем выплат %	ВВП млрд % долл.
Сев. Америка	390,9	45,53	4554
США	371,0	43,20	4197
Европа	248,5	28,95	4371
Азия	192,5	22,43	2845
Океания	9,7	1,14	195
Африка	8,6	1,01	158
Центр. и Южн. Америка	8,1	0,94	401
ИТОГО	858,5	100,00	12519

4.4.4. Проблемы справедливости и выгоды

Учреждение углеродного налога или фонда страхования в названном объеме порождает ряд других проблем. Во-первых, развивающиеся страны, которые в настоящее время вносят небольшой вклад в мировой объем выбросов двуокиси углерода, должны быть освобождены от выплат, по крайней мере до тех пор, пока передача современных технологий не обеспечит им возможность уменьшать эмиссии парниковых газов. Во-вторых, использование механизма налога или страхового фонда должно осуществляться на договорных основах. Передача энергосберегающих технологий, технологий, исключающих производство и использование фреонов, в развивающиеся страны должна происходить безвозмездно — только в этом случае эти страны могут подключиться к действиям для достижения конечной цели. В противном случае развивающиеся страны явно предпочтут считать

вопросы сохранения окружающей среды второстепенными по отношению к проблемам их экономического роста.

Следует отметить, что экологические проблемы в промышленно развитых странах приобрели современное значение отнюдь не после того, как там было покончено с нищетой. Даже в США, где затраты на охрану окружающей среды очень велики, проблема нищеты части населения все еще остается нерешенной. Это замечание полезно в том смысле, что не стоит, наверное, очень плотно связывать эти вопросы и считать экологические проблемы «проблемами толстосумов». В действительности охрана окружающей среды не несет социального оттенка, поскольку действия предпринимаются в интересах всех людей без различия уровня личных доходов.

Фонды содействия развитию в странах ОЭСР (такие, например, как МБРР) располагают объемом денежных средств приблизительно в 50 млрд долл., что равно примерно 0,2–1,0% их ВВП (рис. 4.4). На эти деньги большинство правительств развивающихся стран развертывают строительство крупных современных предприятий — таких, как электростанции, железные дороги, объекты тяжелой индустрии, здравоохранения и образования. Займы МБРР, предоставляемые в ежегодном размере 14 млрд долл. за последние годы, даются на долгосрочных условиях и при приемлемых кредитных ставках. Беднейшим странам предоставляется также помощь в рамках двусторонних соглашений в виде безвозмездных вложений на концессионной основе.

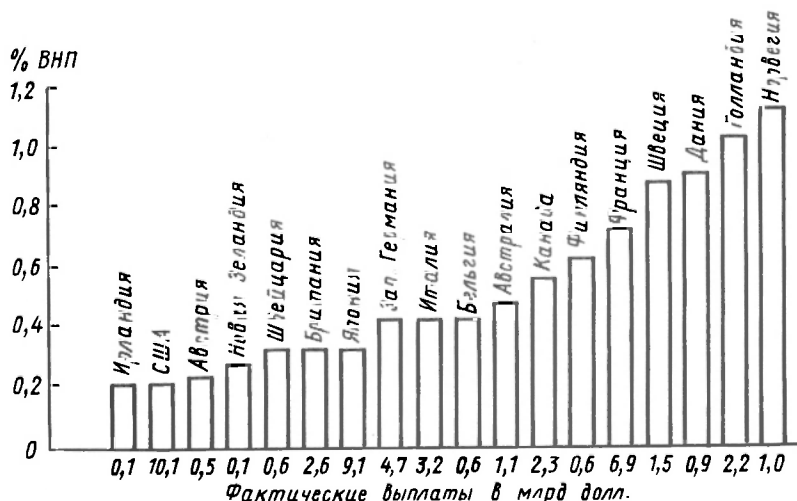


Рис. 4.4. Объемы официально предоставляемой помощи, 1988 г. Фактические выплаты в % от ВВП, по странам.

Источник: доклад ОЭСР.

Несмотря на усилия по увеличению размеров фондов, расходующихся на эти цели, задача решается не столь уж просто. В развитых странах жесткая фискальная политика и растущее господство рыночных механизмов затрудняют пополнение общественных фондов, нацеленных на оказание экономической помощи.

В случае принятия углеродного налога или учреждения страхового фонда их объем может быть составлен пропорционально вкладу отдельных стран в суммарные эмиссии углекислого газа. Для приведения этих механизмов в действие необходима разработка внутренних способов сбора этих средств — либо из госбюджета (то есть как часть общего вклада налогоплательщиков), либо за счет введения новых целевых налогов с привлечением внимания общественности к причинам и субъектам нового налогообложения. Когда это будет сделано, ставки налогов можно будет менять в зависимости от динамики выбросов парниковых газов.

Предлагаемые источники средств (налог и/или фонд) свяжут не более 0,5% валового национального продукта развитых стран, включая б.СССР и другие страны с централизованно планируемой экономикой, где энергия чаще всего расходуется довольно неэффективно. И все же сама цифра предлагаемых затрат весьма значительна, в связи с чем многие страны откажутся принимать участие в деятельности, сопряженной с таким уровнем расходов. Даже подписание международного договора не сможет преодолеть их опасений. В истории пока имеется лишь один пример действий такого рода — восстановление разрушенной второй мировой войной Европы в соответствии с планом Маршалла. На реализацию этого плана США истратили 1% валового национального продукта за период с 1948 г. по 1952 г.

На Нордвикской конференции министров иностранных дел (Нидерланды, ноябрь 1989 г.) высказывались предложения по введению углеродного налога. Эти предложения не были приняты, т.к. встретили возражения со стороны США, Японии и Великобритании, связанные с тем, что наш уровень знаний о процессе развития парникового эффекта еще явно недостаточен и останется таковым до того, как соответствующий доклад будет представлен IPCC. Кроме того, развивающиеся страны сами должны проявить заинтересованность в сохранении естественных параметров атмосферы и, как следствие, в ограничении выбросов парниковых газов. Убедить в этом страны Нордвикской оппозиции — главная задача всех, кто отдает себе отчет в опасности глобального потепления для экологической ситуации на планете. В настоящее время данные доклада Рабочей группы IPCC — и Стивен Шнайдер подчеркивает это в своей работе — дают нам четкое и взвешенное предупреждение о потенциальной глобальной катастрофе, если все будет «идти как идет».

Несомненно, часть средств, направленных на стабилизацию параметров атмосферы, положительно повлияет на процесс экономического развития. Яркий пример тому — восстановление лесных массивов, так как эта деятельность снижает темпы деградации плодородных

земель и увеличивает уровень занятости населения. Более значительный эффект даст внедрение современных энергосберегающих технологий — как необходимый ингредиент экономического развития, а не как результат решения, принятого слишком поздно. Кроме того, слишком дорогой ценой за осторожность может оказаться невмешательство в процесс — сам по себе дорогостоящий — повторение развивающимися странами ошибок на пути развития, уже пройденного мировыми лидерами в экономике. Это может кончиться необходимостью экстенсивной замены технологий в огромных масштабах и экстренной, а потому весьма накладной модернизацией отсталой экономики в местах ее функционирования. Начинать модернизацию сейчас — в интересах как отсталых, так и передовых стран.

В работе Голдемберга и др. [26] показано, что с внедрением энергосберегающих технологий развивающиеся страны могут достичь уровня развития стран Западной Европы середины 70-х годов уже к 2020 г.

Удельное потребление энергии на душу населения развивающихся стран вырастет от 1 кВт (1980 г.) всего лишь до 1,3 кВт в 2020 г., но эта энергия будет не в пример более продуктивной. Усилия передовых стран, направленные на рациональное использование энергетических ресурсов, приведут к снижению уровня потребления энергии. Для этих стран динамика удельного энергопотребления выразится в снижении среднедушевого показателя от 6,3 кВт в 1980 г. до 3,2 кВт в 2020 г. Так или иначе, но потребление энергии в мировом масштабе вырастет к 2020 г. всего лишь до 11,2 ТВт (по сравнению с 10,3 ТВт в 1980 г.), а доля возобновляемых энергетических ресурсов возрастет от 16,3% до 19%. Таковы перспективы предлагаемого сценария.

Новейшие технические решения и недавние научные разработки заставляют пересмотреть названные цифры. Успехи в развитии солнечной энергетики, использование энергии ветра, а, особенно, утилизация энергии биомассы в аэродеривационных газовых турбинах [27] — все это говорит о том, что доля возобновляемых источников энергии возрастет к упомянутому сроку в существенно большей степени, что, в свою очередь, внесет весомый вклад в дело снижения выбросов газов, вызывающих столь опасный парниковый эффект в атмосфере нашей планеты.

4.5. Заключение

Несмотря на то, что предсказание последствий глобального потепления остается задачей, решение которой связано с рядом неопределенностей, главное сейчас — это не будущее успехи науки (или, как замечают некоторые, успехи отдельных ученых в деле отстаивания собственного авторитета), а будущее состояние атмосферы Земли. Плата за необратимые изменения в структуре воздушной оболочки плане-

ты может оказаться несоизмеримо более высокой по сравнению с затратами на усилия по предотвращению дальнейших изменений химического состава атмосферы. И это должно волновать не только жителей прибрежных областей (таких, как Бангладеш, чье население окажется первой жертвой подъема океанских вод), но и нью-йоркцев, и обитателей побережья Мексиканского залива.

Проблема, стоящая сейчас перед нами, не имеет аналогов в истории цивилизации. Каждый из нас несет сейчас ответственность за уклонение от ее решения. Соображения филантропического или гуманитарного характера в вопросах экономической помощи далеко не исчерпывают долга промышленно развитых стран в отношении решения этой проблемы. Эта деятельность — в их собственных интересах. Мы многому научились за последние пятнадцать лет, борясь с загрязнениями окружающей среды на локальном и региональном уровнях. Можно сказать, что мы начали оплачивать счета, предъявляемые природой. Сейчас речь идет об оплате счета за атмосферу Земли в целом. Эта проблема не признает таможенных барьеров и государственных границ. Это вызов всему человечеству.

Глава 5

РОЛЬ ЭФФЕКТИВНОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Эмори Лавинс (Amory Lovins)

«...В настоящее время на самом деле гораздо выгоднее беречь топливо, нежели сжигать его. Ограничение процесса сжигания топлива и снижение тем самым уровня загрязнения атмосферного воздуха, достигнутое не за счет дополнительных затрат, а, наоборот, с прибылью — вот чего можно и нужно добиться в возможно более широких масштабах экономической деятельности...»

Земля круглая — это факт, и этот факт кладет ясно различимый предел как росту численности населения, так и темпам роста индустриализации. Биосоциальная емкость сферы жизни не беспредельна — именно это вкупе с явлением невозобновляемости большинства ресурсов ограничивает разрастание процесса «лос-анжелизации» нашей планеты. При этом надо отдавать себе отчет в том, что рост населения и уровня индустриализации не обязательно жестко связан с ростом энергопотребления, мало того, энергия — один из самых слабых факторов ограничения нашего экстенсивного развития. Эта глава в первую очередь объясняет, почему энергопотребление не ограничивает промышленного развития (во всяком случае, по сравнению с другими факторами), а затем мы поведем речь о целях, гораздо более важных для нас, чем беспредельный экономический рост.

Что касается энергии, то о ней можно рассказать как хорошие вещи, так и плохие. К хорошим новостям можно отнести то, что мы, преследуя ближайшие экономические цели, решили энергетическую

проблему за счет внедрения новейших технологий — во-первых, при конечном использовании энергии, во-вторых — при ее хранении и поставках. Например, вот что можно рассказать в этом отношении о США.

Использование в практической жизни имеющихся на рынке энергосберегающих технологий только в области электрохозяйства даст возможность сэкономить три четверти потребляемой ныне электроэнергии при ее стоимости менее одного цента за кВт-ч, возможно, около 0,6 цента [1]. Это, в сущности, меньше, чем стоимость функционирования любой ТЭС или АЭС, если не учитывать затраты на их строительство. Вот один прекрасный пример — флюоресцентные лампы. 18-ваттная флюоресцентная лампочка освещает комнату так же хорошо, как 75-ваттная лампа накаливания, причем служит в 13 раз дольше. Ее номинальный срок службы (10000 час) позволяет не выбрасывать в атмосферу около тонны углекислого газа и 8 кг сернистого ангидрида из труб средней американской тепловой электростанции, не говоря уже об окислах азота, тяжелых металлах и еще целом букете загрязняющих атмосферу веществ [2]. При этом она сама стоит дешевле, не говоря уж об экономии труда на установку (в среднем экономится 20 долл.), еще 20-30 долл. экономится на топливе — это гораздо больше прямой экономии на себестоимости (5-8 долл.) и на розничной цене (12-18 долл.). Таким образом, использование флюоресцентных ламп не только очищает воздух, но и существенно увеличивает национальный доход, повышая эффективность инвестирования в область электроснабжения.

Практическое использование технологий, сберегающих нефтяное и газовое топливо наилучшим образом (множество подобных технологий уже представлено на рынке, а ряд других выходит на рынок в ближайшие 4-5 лет), поможет сохранить три четверти потребляемой ныне нефти при средней цене менее 3 долл. за баррель — и это выгоднее, чем искать и находить новые месторождения на территории страны [3].

Экономия топлива достигается за счет мер чисто технического характера и не влечет за собой потерь в качественных и количественных показателях энергоснабжения. Энергосберегающие технологии уже начали завоевывать рынок, несмотря на ряд препятствий, стоящих на пути их широкого использования. В настоящее время имеются веские доказательства того, что рост рыночной активности этих технологий резко снижает риск вложения капитала в эту область, то есть вложения начинают приносить доход по всем законам свободного рынка, обеспечивая потребность в достаточном энергоснабжении.

По этим причинам вопросы, связанные с экономией энергии, можно отнести к компетенции ортодоксальной неоклассической экономики и, пользуясь ее критериями, заключить, что энергосбережение выгодно и желательно. Тем более актуально звучат в свете этих выво-

дов данные доклада 1-й Рабочей группы IPCC о мерах, направленных на борьбу с нарастающими процессами глобального потепления (включающими в себя образование смога, кислотные дожди и прочие нежелательные последствия загрязнения атмосферного воздуха). Эти меры в первую очередь предусматривают резкое сокращение объемов сжигаемого топлива. Обычно предполагается, что подобные мероприятия должны сопровождаться существенными капиталовложениями и/или нежелательными изменениями в образе жизни населения. Но в действительности новые разработки в области конечного использования энергии позволяют достичь желаемых природоохранных результатов (прекращение наращивания эмиссий парниковых газов или даже снижение их уровня) без всяких дополнительных затрат, мало того, эти меры будут сопровождаться улучшением качества энергоснабжения.

Что касается плохих новостей, то прежде всего следует констатировать слабую заинтересованность государственного и частного сектора энергетики в получении рыночной прибыли — в этом смысле это почти социалистический сектор экономики. Деятели энергоснабжения держатся за свои привычные схемы и умирающие технологии, постепенно вытесняемые давлением рынка. До тех пор, пока подобная идеология довлеет над внутренней политикой и практикой инвестирования, которая зависит от нее, энергопотребление по-прежнему будет оставаться одним из факторов, ставящих под угрозу экологически безопасное развитие цивилизации.

5.1. Скрытый успех

5.1.1. Аспекты спроса

Несмотря на перечисленные препятствия официального характера, сам дух рыночной стихии, даже при слабом развитии уровня рыночных отношений, помогает преодолевать эти преграды. Рассмотрим следующие факты.

С 1979 г. США более чем в 7 раз увеличили долю сэкономленной энергии, используемой на конкретные нужды, что превысило объем ее внешних поставок. Большая часть сэкономленной энергии (11–12% от общего энергопотребления) получена за счет возобновляемых источников. За период с 1979 г. по 1986 г. меры по экономии повысили энергетические запасы США в 7 раз (такой же вклад внесен АЭС за всю историю их существования), а за период 1984–1986 гг. это увеличение составило почти 1300% (в 13 раз).

Снижение интенсивности энергопотребления, начатое в 1973 г., привело в США к снижению бюджетных затрат с 580 до 430 млрд долл. в год — почти на 150 млрд долл., что сравнимо с дефицитом бюджета. Однако, если бы на этом пути США успевали бы за конкурентами

из Западной Европы и Японии, то это выразилось бы в дополнительной экономии примерно 200 млрд долл. ежегодно. Если до конца текущего столетия просто выбирать из источников энергии наиболее дешевые и эффективные, то это приведет к экономии нескольких триллионов долларов (при нынешнем курсе) — сумма, достаточная для полного покрытия государственного долга.

В течение периода с 1977 г. по 1985 г. США самыми обычными методами сэкономили в 4–5 раз больше нефти, чем этого требовало сохранение темпов роста промышленного развития и оскудение собственных нефтяных месторождений. Пятипроцентный рост внутренней добычи нефти сопровождался сокращением ее импорта почти вдвое. Меры, повторим, были самыми обычными — более тщательная теплоизоляция (применение инструментов для уплотнения щелей, трубопроводных покрытий, предотвращение утечек пара и т.п.) и увеличение среднего пробега автопарка на 5 миль на галлон топлива.

К 1986 г. запасы энергии в США, полученные за счет экономии начиная с 1973 г., на 40% превысили общий объем продукции национальной нефте- и газодобывающей промышленности, имеющей почти вековой опыт развития. При этом в отрасли в последнее время неуклонно повышались цены, снижался выход топлива и сокращались запасы. Меры по экономии, наоборот, снижали цены, повышали выход и увеличивали запасы энергоносителей.

По оценке Института исследований в области электроэнергетики (одного из «мозговых центров» правительства США), снижение интенсивности потребления электроэнергии за период с 1973 г. по 1986 г. снизило потребности строительного сектора на 141 ГВт [4], что соответствует сбереженным затратам порядка 200–500 млрд долл. При этом в будущем открываются неизмеримо большие возможности для энергосбережения [5]. По той же оценке, технический потенциал США позволяет достичь к 2000 году уровня экономии в 24–44%, не считая 9%, заложенных в прогнозах спроса потребителей и в планах повышения эффективности энергосберегающих технологий [6].

Многочисленные предприятия коммунального хозяйства страны, вкладывая деньги в эффективное энергопотребление, обеспечивают тем самым значительный уровень экономии энергии при низких или снижающихся ценах на нее. В исходных программах затраты коммунальных служб, амортизируемые ожидаемым потоком прибыли от экономии, составляют примерно 0,1–0,5 цента на сэкономленный киловатт час. Например, если все американцы начнут экономить электроэнергию с той же тщательностью, с какой это делали на протяжении 1983–1985 гг. сотрудники компании «Southern California Edison Company», то долговременные потребности в энергоснабжении упали бы сразу на 40 ГВт ежегодно, что соответствует исключению издержек вместе с федеральными субсидиями на сумму около 80 млрд долл. в год. Затраты коммунальных служб будут в этом случае сведены до 0,1–0,2 цента за кВт·ч. Это одна сотая затрат на строительство новых электростанций [7].

5.1.2. Рынок энергосберегающих технологий: предложение и спрос

Прогресс в области предложения на рынке энергосберегающих технологий не менее ошеломляющ по сравнению с областью спроса. Например, ряд улучшений, внедренных в технологию функционирования обычных ТЭС (модернизация газовых турбин, внедрение комбинированно-циклических процессов и парогазовых турбин) пока поддерживают инвестиции в эту отрасль на предельном уровне риска. При этом вложения в грамотно построенные и правильно расположенные небольшие гидростанции, ветровые, солнечные и геотермальные электростанции оправдываются с гораздо меньшей степенью риска (следует отметить, что, в отличие от ТЭС, названные объекты не поддерживаются правительственными субсидиями) [8]. На подходе к этому же уровню конкурентоспособности находится еще ряд разработок, например небольшие и эффективные солнечные батареи, топливные капсулы и т.п. Даже отбросив соображения, касающиеся спроса, можно констатировать, что эра тепловых электростанций явно заканчивается.

В доказательство приведем следующие цифры (это структура подтвержденных заказов в США за вычетом отказов в 1981–1984 гг.):

заказы на продукцию АЭС и ТЭС	— 65 ГВт
заказы на когенерацию энергии (в том числе, 20% за счет возобновляемых источников)	+ 25 ГВт
заказы на продукцию малых ГЭС, ветровых и прочих ЭС	+ 20 ГВт

Таким образом, более двух третей потерь от продукции теплоэлектроцентралей и атомных станций было покрыто за счет малых мобильных и более дешевых источников, что, в свою очередь, вдохновило вкладчиков на это новое дело [9]. Оставшаяся треть была с лихвой восполнена за счет мер по экономии энергии на конечном этапе ее использования. С 1984 г. условия помещения капитала в эти области стали еще более благоприятными.

Наилучшие показатели в этом отношении дает штат Калифорния. Охватывая почти 10% экономики страны, этот штат в 1984 г. из 37 ГВт пиковой нагрузки по электроэнергии получал 10 ГВт за счет ГЭС и геотермальных ТЭС и 27 ГВт за счет ТЭС и АЭС. В 1982 г. власти штата предприняли кампанию по скупке частных энергопроизводств. Через несколько лет фонд сэкономленной энергии составлял 13 ГВт и должен в перспективе увеличиться еще на 11 ГВт, а частные вкладчики подтвердили заказы на 21 ГВт энергии, большая часть которой получается за счет возобновляемых источников. Более 13 ГВт из заказанной мощности покрывается за счет построенных или строящихся станций. Новые заказы в частном энергопроизводстве достигли

ежегодного уровня в 9 ГВт, что составляет четверть пиковой нагрузки штата.

Затоваривание рынка энергии заставило правительство штата приостановить в апреле 1985 г. заключение ряда новых контрактов. Если бы рынок повластовал бы еще год-другой, Калифорния смогла бы избавиться от *в с е х* теплоэлектростанций. Важно при этом учитывать, что коммунальные службы не менее чем двух дюжин других штатов до сих пор надеются на сбыт своих энергетических излишков в Калифорнию. Сами же калифорнийские коммунальные службы, обеспокоенные ростом конкурентоспособности частных энергопроизводств по сравнению с их собственными довольно дорогими ТЭС, препятствуют введению в действие новых мощностей частной энергетики, лицемерно заявляя при этом, что новые мощности «ненадежны», поскольку... они еще не построены.

В период 1988-1989 гг. ряд коммунальных служб некоторых штатов провел аукционы с целью выяснить, кто из частных инвесторов готов заняться энергопроизводством и внести вклад в общую энергосеть. В результате каждая служба получила предложения, в 5-10 раз перекрывающие ее потребности при вполне приемлемых ценах, сформированных на рыночной основе [10]. Судя по этим фактам, коммунальные службы сработали бы еще более эффективно, если бы выставили на аукцион потребность не в энергопроизводстве, а в *э к о н о м и и* энергии, как *к о е-к т о* начал делать сейчас.

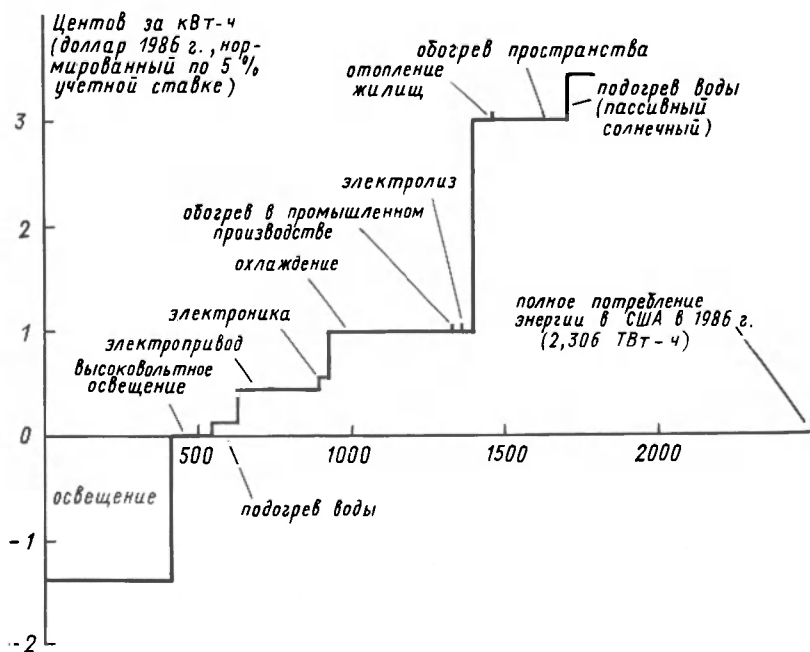
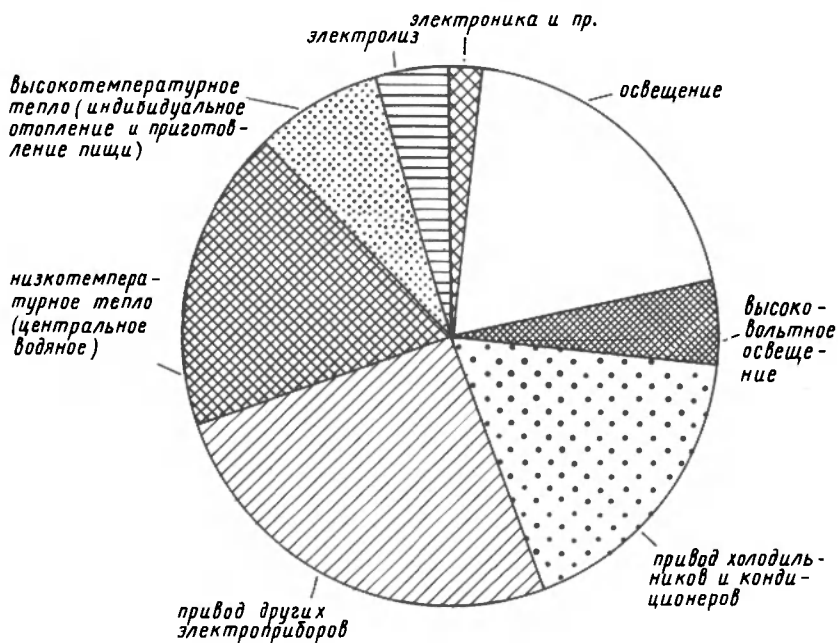
И последний пример: власти штата Мэн использовали конкурсную систему формирования цен не только для энергосберегающих технологий, но и для поддержки использования возобновляемых источников, что позволило увеличить их долю от 2% в 1984 г. до 20% в 1989 г. с перспективой наращивания до 30% в 1991 г. (перспектива оценивается по объемам строительства 1990 г.) [11].

5.2. Революционные сдвиги в эффективном энергопользовании

Заметные сдвиги в развитии отражают быстрые перемены в следующих четырех областях (5.2.1.-5.2.4.).

5.2.1. Технологии резкого повышения эффективности конечного использования энергии

Большинство лучших энергосберегающих технологий, представленных сегодня на американском рынке, появились недавно, буквально за последний год, а лучшие из представленных год назад — тоже



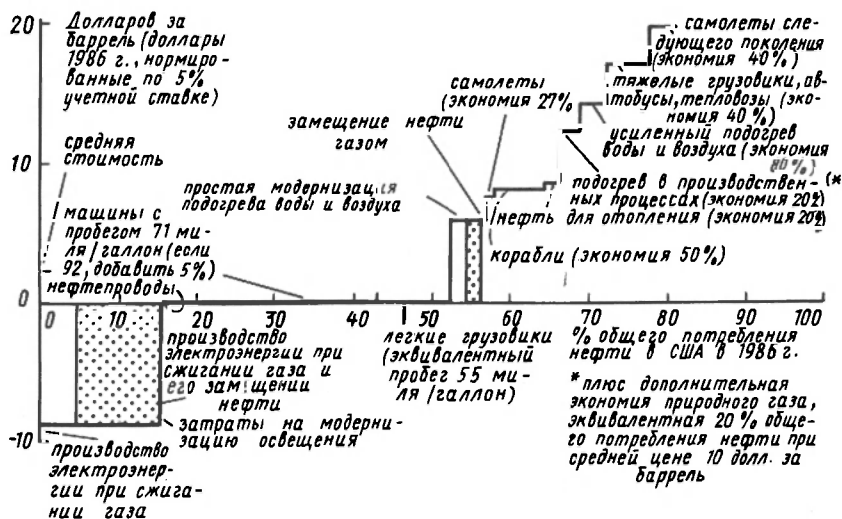


Рис. 5.2. Приблизительные технические возможности США для экономии нефти. Показано в том же варианте, что и на рис. 5.1. Здесь кривая предложения охватывает возможность экономии примерно четырех пятых американской нефти (включая замещение нефти сбереженным газом), оставшаяся одна пятая покрывается сбереженным газом при средней стоимости 3 долл. за баррель при полном использовании упомянутых технологий, почти половина из которых уже представлена на рынке [16]. Самая удивительная и важная из представленных технологий предполагает расход 3,3 л бензина на 100 км (в США 71 миль/галлон), причем компания «Volvo» предполагает продавать ее при нулевом предельном уровне окупаемости [17]. Похожая, но не подтвержденная документами технология «Peugeot» обеспечивает расход 2,6 л/100 км (в США 92 миль/галлон) — добавка еще пятипроцентной экономии [18]. Машины-прототипы уже прошли испытания и показали хорошие результаты как в названных, так и в 7 других компаниях (ни одна из которых не сообщила данных по окупаемости вложений). Расход лежит в пределах 1,7–3,5 л/100 км (в США 67–138 миль/галлон). Хотя смогобразующие выбросы от этих машин не снижаются пропорционально эффективному использованию топлива, все-таки существенное снижение достигнуто при отрицательной стоимости, учитывая разницу между предельно окупаемыми вложениями, если таковые есть, и стоимостью сэкономленного топлива в современных ценах.

Рис. 5.1. Приблизительное энергопотребление в США (1985) и потенциальная экономия электроэнергии при полной практической модернизации лучшими технологиями на рынке 1988 г. при данных стоимостях сбереженной энергии (энергия в ТВт-ч, 1 ТВт-ч = 1000 ГВт-ч). Данные получены эмпирически. Для упрощения эффект всех принятых мер показан в сумме для каждого вида конечного использования энергии. Список технологий содержит около 1000 названий и далек от полноты, не показаны способы рационального управления нагрузкой. Существенно большая экономия может быть достигнута при затратах несколько больших, чем показано, но все же намного меньших по сравнению с затратами предельного долгосрочного уровня окупаемости. Суммарные предельные затраты, показанные на рисунке, сопоставимы с краткосрочными предельными затратами большинства американских коммунальных служб электроснабжения. Точность оценки порядка 10% для объема сбереженной энергии и фактор 2 для оценки затрат. Рисунок иллюстрирует возможность экономии половины энергии, используемой в США при стоимости около 0,6 центов за кВт-ч — во много раз дешевле, чем если бы она поставлялась теплоэлектроцентралями, если даже не учитывать затраты на строительство. Появляются доказательства того, что в Западной Европе и Японии потенциал экономии несколько ниже, чем в США, а для соцстран и развивающихся стран — даже выше.

результат самых свежих разработок. Эти технологии позволяют сохранять вдвое больше энергии по сравнению с уровнем пятилетней давности при средней стоимости энергии меньше в три раза, чем тогда, то есть показатель «цена+эффективность» возрос в шесть раз, а за 10 лет почти в 30 раз. По-видимому, ничто не может противостоять развитию этого революционного процесса. Потенциальные его результаты показаны на рис. 5.1. Оценка сделана по реальным показателям стоимости [12]. Подобная оценка развития потребления нефти представлена на рис. 5.2.

5.2.2. Новые пути финансирования энергосберегающих технологий и доведения их до потребителя

Ряд новых способов проведения стратегии минимальных затрат был разработан Институтом Рокки-Маунтин и другими [13] и использован коммунальными службами штатов при операциях на рынке энергоснабжения [14]. В 40 штатах подобная стратегия обрела рамки законов. Вместе с практикой займов и скидок, предоставляемых коммунальными службами американским энергопотребителям, эта стратегия включает:

- размещение заказов на энергопроизводство и энергосбережение только на конкурсной основе (начало положено в 8 штатах);

- заключение договоров с их последующей перепродажей с целью стабилизации или поддержания спроса на энергию;

- создание рынка энергосбережения, в первую очередь среди коммунальных служб (первые две сделки такого рода были заключены в 1988 г., и по их условиям одна коммунальная служба вкладывает деньги в энергосбережение на территории другой службы, получая взамен на льготных условиях излишки освободившейся энергии);

- создание всех возможных видов рынка «негаватт» (сбереженной электроэнергии);

- скользящая шкала налогов на строительство (налоговые льготы, поддерживающие строительство зданий с эффективной теплоизоляцией);

- продажа эффективных технологий одними коммунальными службами другим [15], как это с выгодой делается сейчас примерно дюжиной служб, в том числе службами газоснабжения.

Эти и подобные им финансовые инновации вовлекают сбереженную электроэнергию в рыночный механизм как полноправный товар, участвующий во всех видах сделок. Эволюция такого рода началась и в отношении других видов энергии и ресурсов, в частности нефти и даже воды [19].

5.2.3. Радикальные изменения в характере и уровне культуры деятельности коммунальных служб, возвращающие их к историческим корням их создания

Ряд американских коммунальных служб пересматривает в настоящее время свое назначение. Сущность подобных изменений отражена в заявлении службы штата Джорджия («Georgia Power»): «производство, выгодное для нас и удовлетворяющее потребителя». Число участников этого процесса растет, так как фирмы, первыми вставшие на этот путь, быстро стали процветающими. Службы, продающие не только электричество, но и сбереженную энергию (а именно, способы ее сбережения), меняют свое лицо. Из поставщиков одного товара (киловатт) они превращаются в поставщиков серии взаимосвязанных товаров и услуг, включающих информацию и способы вложений, наиболее устраивающих их покупателей. Это приводит службы к осознанию того факта, что иногда бывает выгоднее продавать меньше энергии, причем чем дальше, тем чаще — в условиях падения цены на нее. Предполагалось, что подобные изменения потребуют не меньше десятка лет, при условии появления в этом деле лидера нового типа. В действительности же некоторые службы прошли этот путь за 2–3 года, несмотря на трудности переходного периода. Трудности заключаются, прежде всего, в том, что подобная перестройка требует не только ревизии основополагающих целей корпорации, но и новых ориентиров в личной карьере каждого работника, осознания им собственной новой роли в общем процессе. Залог победы в том, что в перспективе гораздо труднее придется тем, кто этого не сделал. К этому же принуждает нас стоящая перед нами угроза глобального потепления.

5.2.4. Небольшие, но важные перемены в законодательном процессе, поддерживающие упомянутую перестройку

Важнейшим событием здесь явилось принципиальное соглашение, выработанное в ноябре 1989 г. Национальной ассоциацией по регулированию деятельности коммунальных служб. Оно предусматривает разделение зависимости прибылей и продаж для коммунальных служб (с тем чтобы службы не гнались за количеством продаваемой энергии, как это имело место в то время только в Калифорнии). Эффективность работы служб определяется только уровнем снижения цен на энергию для потребителя, поскольку именно прибыль потребителя обеспечивает процветание службы, являясь определяющим фактором ее собственной прибыли.

Это решение касалось только служб электроснабжения, но на практике оно было применено, кроме них, двумя крупнейшими

компаниями-поставщиками нефти, которые всерьез заинтересовались возможностью заработать на продаже технологий экономии всех форм энергии.

5.2.5. Прогнозы потребления энергии в будущем

Результатом всех этих продвижений явилась революция в методологии проведения энергетической политики. Этот фундаментальный сдвиг настолько уже определился, что трудно поверить в то, что всего лишь десяток лет назад энергетика развивалась с помощью столь примитивных методов, применяемых почти повсеместно. В 1976 г. был опубликован меморандум Германа Дэли (Herman Daly), резюмирующий имевшиеся в то время способы определения потребностей в энергии.

Цитируем: «Одновременный рост населения планеты и среднедушевого потребления энергии (в том числе, рост среднедушевого ВВП и рост энергопотребления на единицу ВВП) приводили к тому, что в будущем наша потребность оценивалась весьма круглой цифрой. При этом априорно полагалось, что какие бы технологии ни применялись для достижения этой цели, все они хороши, ибо служат прогрессу. Соображения о том, что система рано или поздно разрушится, в расчет не принимались. Развитие неуклонно вело к некоторому решающему моменту, после которого история либо прекратилась бы, либо началась бы заново. Момент этот должен был наступить где-то между 2000 и 2050 гг.

Поражает, как такой подход мог родиться у существ, обладающих центральной нервной системой, не говоря уже о более или менее развитой коре головного мозга. Для тех же, кто, помимо упомянутых качеств, обладает душой, было ясно уже давно, что ужасающая подмена целей и средств делает подобный подход к развитию цивилизации совершенно неприемлемым. В основе его лежит необсуждающийся постулат о том, что рост населения и рост среднедушевого потребления энергии неизбежны и желательны; что незачем беспокоиться о будущем в ближайшие 20 лет, поскольку по прошествии этого периода условия для дальнейших капиталовложений неизмеримо улучшатся; и что растущее засилье технологий — это дань прогрессу, против которого могут выступать только безумцы.»

В настоящее время стало ясно, что подход, имеющий в основе минимизацию затрат на конечном этапе потребления энергии, предложенный в 1976 г. [20] и предусматривающий ответы на следующие вопросы: для чего нам нужна энергия, сколько ее нужно, какого качества, в каких масштабах, из какого источника, и как этого добиться с наименьшими затратами — этот подход является наилучшим с чисто экономической точки зрения, так как предполагает анализ рынка и

обеспечивает оптимальные условия для инвестирования. Кроме того, общепринятой стала точка зрения на будущие потребности в энергии не как на роковую предопределенность, а как на проблему выбора. Достаточно привести результаты далеко не всех аналитических исследований в этой области, чтобы понять, что новые технологии производства и способы доставки энергии помогают сделать этот выбор весьма продуманно и с минимальной долей риска. Потенциальные возможности мер по экономии энергии и цифры затрат, упомянутые выше, может быть, кого-то и удивят. Но ведь эти данные получены в результате общепринятых методов анализа, а исходными данными послужили документы объективного учета результатов финансовой деятельности, чье содержание определяется реальными и доступными механизмами. Эмпирические данные имеют, конечно, массу недостатков, за исключением одного — они не придуманы, а реальны.

Модели будущего, предусматривающие безудержный рост энергопотребления, базировались на обычной экстраполяции современных процессов и не требовали особых рассуждений. И тем не менее, они несостоятельны, поскольку предполагают, что увеличение потребности и объемов поставок энергии влечет за собой ее удорожание. Но ведь удорожание неминуемо повлечет за собой поиски путей эффективного энергопотребления! Кроме того, эти модели непривлекательны с политической точки зрения, поскольку предполагают повышение роли политического регулирования со стороны правительства. На это готовы пойти отнюдь не все страны. Адвокаты ядерной энергетики апеллируют к примерам Франции и Тайваня, но вряд ли американцы, как отмечает Ирвин Стелзер (Irwin Stelzer), согласятся на повышение роли централизованного планирования в ущерб развитию рыночных отношений в энергетике по примеру упомянутых стран. У нас нет иллюзий по поводу трудностей, возникающих на пути реализации той или иной модели будущего развития энергетики. Но надо помнить, что история недавнего прошлого учит нас придавать большее значение решению несомненно актуальных проблем эффективного использования энергии, по сравнению с проблемами, которые обязательно возникнут в случае пренебрежения первыми.

5.3. Промахи

Достижения в области эффективного энергопотребления потрясают еще больше, если вспомнить, какие могущественные силы им противодействуют. Десятилетиями меры по повышению эффективности тормозятся их противниками, и часто даже сторонники этих мер своими действиями оказывают медвежью услугу но-

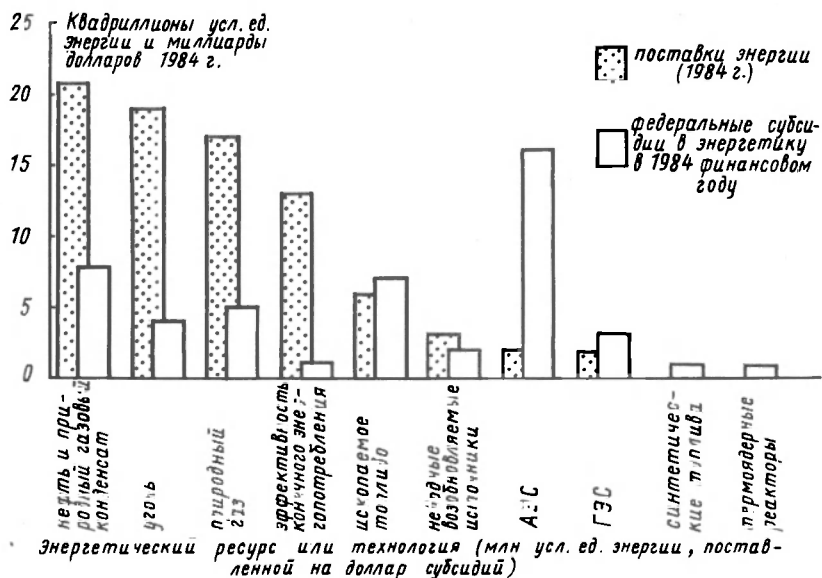


Рис. 5.3. Поставки энергии и федеральные субсидии США в 1984 г. Размер и размещение субсидий в 1984 финансовом году. Диаграмма эффективного конечного использования энергии предполагает, что охвачена только половина уменьшения удельной энергоёмкости ВВП 1973–1984 гг., три четверти — это более точная оценка. Одна четверть получена за счет структурных и ценностно-ориентационных изменений.

вазиям в области энергопотребления. Так, публичное заявление президента Картера, в котором он связал меры по экономии энергии с состоянием лишений, неудобств, неизбежных ограничений, повредило этому процессу гораздо больше, чем ему способствовали все политические инициативы президента, направленные на развитие эффективного энергопотребления [21]. В то же время технологии, которые производят, кроме энергии, массу вредных отходов, истощают невозобновляемые ресурсы, загрязняют окружающую среду и являются позорно неконкурентоспособными на рынке — эти монстры любовно и последовательно поддерживаются на правительственном уровне. Триумф подобного узколобого подхода над интересами макроэкономического уровня просто не поддается описанию, особенно для такой страны, как США. Например, бессилие федеральных субсидий в энергетический сектор было очевидным и до 1984 г. [22], а в течение этого года стало просто ужасающим (рис. 5.3) [23]. Субсидии привели к тому, что цены на электроэнергию снизились на 17%, прямой расход топлива — на 4%, а эффективность использования... упала на 1%. Налоговая реформа 1986 г. снизила общий объем субсидий, достигавший в 1984 финансовом году 50 млрд долл., но существенно повысила их гибкость в условиях рыночного выбора [24].

Приведем ряд других примеров подобного недомыслия, имеющего официальную поддержку.

* Министерство внутренних дел продолжает свои упрямые попытки, выбрасывая на затоваренный рынок все доступные ресурсы топлива по искусственно заниженным ценам, не обращая внимания на издержки социального и экологического характера (политическая напряженность, загрязнение среды, риск для национальной безопасности и ценность таких ресурсов, как флора, фауна, ландшафты и пр.).

* Федеральная комиссия по энергетике не менее упрямо противодействовала в конце 80-х годов попыткам отдельных штатов внести дух истинно рыночных отношений в область службы электроснабжения.

* Федеральные законы, касающиеся мониторинга окружающей среды, поддержки безопасности и здоровья населения, а также законы антитрестовского характера были неуклюже, но основательно выпотрошены в отношении энергетической промышленности [25]. Стандарты, регулирующие электромонтаж и теплоизоляцию при строительстве зданий и созданные в результате анализа конъюнктуры рынка, соблюдаются не полностью или попросту игнорируются [26]. Конгресс семь лет воевал с администрацией Рейгана, пытаясь ввести в действие Банк для поддержки мер по консервации энергии и развитию солнечной энергетики, учрежденный в 1980 г., и в конце концов... сдался на милость победителя.

* Федеральное министерство энергетики срезало на 71% ассигнования на исследование, развитие и пропаганду технологий эффективного энергопотребления, мало того, оно уже давно пытается урезать жалкие остатки этих средств — и преуспевает в этом. В 1989 финансовом году, например, эти ассигнования были сокращены еще вдвое, а вложения в локальные программы (на уровне штатов и ниже), направленные на доведение этой информации до населения, практически были прекращены (их урезали на 96%). При этом важно помнить, что подобные вложения уже доказали свою эффективность, возвращая в экономику страны сотни и тысячи процентов от своего объема.

* Остаток этих ассигнований почти целиком продолжает направляться в область централизованного электроснабжения, занимающую от 0 до 7% общей программы по исследованию, развитию и пропаганде эффективного энергопотребления.

Действия подобного рода оборачиваются весьма серьезными, иногда доходящими до абсурда последствиями. Например, в настоящее время энергия, потребляемая в США, обходится вдвое дороже всей суммы дефицита государственного бюджета [27], и дороже, чем все военные расходы США (составляющие, как известно, 10 тыс.долл. в секунду). Масса сырой нефти, израсходованной в США в 1986 г. [28]

в результате отступлений от стандартов эффективности работы двигателей легковых машин [29], достигла уровня импорта из стран Персидского залива в 1985 г. Если этого мало, то можно добавить, что точно такое же количество нефти Министерство внутренних дел собиралось выкачать из месторождений, прилегающих к Национальному арктическому заповеднику. В данном случае администрация не задумывалась о сравнительной ценности заповедника и нефти, тем более, что она добывалась разрешения Конгресса на добычу нефти в пределах самого заповедника, не вникая ни в возможные отрицательные последствия для охраняемого уголка уникальной живой природы, ни даже во вполне вероятные собственные финансовые потери.

Вот еще пример. По оценке Института исследования проблем энергетики, экономия в 56 ГВт базовой нагрузки, которая должна быть достигнута к 2000 г. за счет внедрения программ эффективного энергопотребления в коммунальных службах, не будет иметь места. Она будет съедена тем уровнем спроса на энергию (35 ГВт пиковой и 41 ГВт внепиковой нагрузки), который определяется нынешними правительственными программами. На наш взгляд, ни одна из этих программ не является экономически оправданной. Эти и подобные им вмешательства сыграли, пожалуй, даже большую роль, чем колебания рыночных цен, в том, что в течение 1988-1989 гг. почти прекратилось до этого стабильное снижение меры энергии на единицу ВВП. В самое последнее время прерванный было процесс снижения частично возобновился.

Ограждение потенциально опасных производств от очищающего влияния рынка и от новых веяний в политическом климате дает простор действиям, за которые в будущем придется платить довольно дорого. Живой пример — счет почти на 100 млрд долл., который уже начал предъявляться налогоплательщикам американским военным ядерным сектором за меры по ликвидации последствий его деятельности. Столь же неприятный сюрприз, похоже, скоро преподнесет и гражданский сектор атомной энергетики [30].

Система снабжения электроэнергией (по самым надежным из имеющихся данных) получила в 1984 финансовом году около 35 млрд долл. федеральных субсидий. Это три четверти всего объема субсидий в энергетику, а ведь электричество составляет всего 14% от всех видов поставляемой энергии [31]. Эта диспропорция обеспечивает поддержание цен на электроэнергию в пять раз ниже реальных. Таким способом искусственно взвинчивается спрос и поддерживается нулевая (или даже отрицательная) эффективность вложений в строительство новых ТЭС. Эта же диспропорция помогает уравнивать почти весь объем частных вложений (около 30 млрд долл. ежегодно) в расширение поставок электроэнергии. Такая политика серьезно повлияла на размещение капитала в национальном масштабе, поскольку бесприбыль-

ные теплоэлектроцентрали в сотни раз более капиталоемки, чем системы поставки нефти, газа и угля, на которых была построена вся нынешняя американская экономика. Вливание в снабжение электроэнергией продолжается и по сей день, поглощая ежегодно около 60 млрд долл. (наполовину из общественных фондов, наполовину из частных вложений). Это столько же, сколько вкладывается, например, в производство всех потребительских товаров длительного пользования в США. Таким образом, меры по экономии электричества — это единственный способ удовлетворения спроса на электроэнергию при росте числа выводимых из эксплуатации станций, поскольку эти меры одни способны создать вдвое больше того капитала, который нужен для поддержания системы снабжения электроэнергией на уровне конкурентоспособности.

Разница в уровнях эффективности использования энергии между США и Японией создает пятипроцентное преимущество в средней цене японских товаров перед американскими. Этот разрыв расширяется, причем только за счет энергоемкости — в 1986 г. японский ВВП был на 36% менее энергоемким, чем американский. Если так пойдет и дальше, то к 2000 г. этот разрыв достигнет 45%. В отдельных же важнейших отраслях — таких, как автомобилестроение, целлюлозно-бумажная промышленность и производство цемента — японское удельное энергопотребление снижается (что еще раз доказывает, что рост качества товаров не зависит от роста энергопотребления), в то время как в США оно, наоборот, растет — в полном соответствии с официальной догмой о прямой зависимости благосостояния от количества потребляемой энергии, и в связи с этим продолжает субсидироваться правительством.

Ожидается, что решение таких проблем, как выбросы двуокиси углерода, кислотные дожди и распространение радиоактивных загрязнений, потребует огромных затрат. На самом деле все это — артефакты экономически несостоятельной энергетической политики, которые можно исключить не затратным путем, а наоборот, с выгодой (как именно, будет показано ниже).

За последние 15 лет США дважды впадали в нефтяной шок по вине правительства, которое наращивало предложение энергии на рынке, полностью игнорируя спрос. В обоих случаях инициативы в области предложения проваливались на фоне спокойного роста рыночной активности энергосберегающих технологий. Провал инициатив правительства оставлял энергопроизводителей с массой весьма накладных для них излишков производства. Сегодня предпринимается третья попытка такого рода. Но теперь правительство уже отдает себе отчет в том, что между спросом и предложением должен быть некоторый баланс, хотя бы в варианте рецепта рагу из слона и кролика («берется 1 слон и 1 кролик...»). Этот «баланс» основывается отнюдь не на неоклассическом соотношении предельно окупаемых вложений и

прибылей, а, скорее, на том варианте энергетической политики, который известен как «теория меню китайского ресторана» (выберите одно название из списка А, одно — из списка Б и т.д.), чтобы удовлетворить большинство клиентов, и при этом «сделать дяде ручкой», заявляя, что дополнительные поставки энергии необходимы для «подстраховки» на тот случай, если внедрение энергосберегающих технологий не принесет желаемого эффекта. А результат вложения в оба варианта один — задушить и тот, и другой, поскольку оба варианта имеют один источник, и не выиграть ничего. Или, что еще хуже, допустить независимое развитие обоих вариантов и в результате получить банкротство энергопроизводителей, а затем снова вкладывать кучу денег, чтобы удовлетворить ажиотажный спрос.

Короче, американская администрация действует точно по принципу Аббы Эбана, заметившего как-то, что «люди поступают мудро только в том случае, когда все альтернативы уже испробованы». И в этом смысле мы определенно движемся к концу списка альтернатив.

5.4. В выигрыше — окружающая среда

В настоящее время узел экологических проблем вызывает настолько сильное общественное беспокойство, что это может положительно сказаться на повороте энергетической политики в сторону экономической рационализации. И это именно предположение, а не утверждение, поскольку сегодня, например, почти в каждом журнале (за исключением, пожалуй, только «Business Week») старательно муссируются ложные аргументы того плана, что, мол, ядерная энергетика способна остановить процесс глобального потепления [32]. Но нет худа без добра — у нас появляется возможность использовать новую систему аргументации.

Топливо, которое не добывается из недр и не сжигается, является безопасным для окружающей среды. В настоящее время пользоваться сэкономленной энергией гораздо дешевле, чем добывать и сжигать топливо для тех же целей [33]. Таким образом, отрицательное воздействие на окружающую среду процессов добычи, преобразования и потребления энергии можно исключить при отрицательных финансовых затратах общества.

Например, вместо того, чтобы повышать счета за электричество, а потом платить предприятиям-загрязнителям за меры по очистке выбросов газов-ангидридов, следует использовать уже апробированные методы снабжения потребителей эффективно работающими источниками света, двигателями, оборудованием и элементами строительных конструкций. В результате потребителям понадобится гораздо меньше энергии для достижения их целей. Службы электроснабжения смо-

гут сжигать меньше угля и выбрасывать в атмосферу меньше двуокиси углерода и серы. Можно будет начать вывод из эксплуатации наиболее грязных производств. Но главный эффект, повторим, заключается в том, что службы сэкономят в этом случае массу денег, поскольку меры по повышению эффективности дешевле дополнительных количеств угля [34]. Освободившиеся средства могут быть впоследствии вложены теми же службами в очистные сооружения для ТЭС, с возможностью выбора наилучших способов очистки. Кроме того, службы получат возможность снизить тарифы, компенсировать убытки шахтеров и наградить своих вкладчиков, доказав им, что их деньги находятся в руках опытных бизнесменов. По самым осторожным оценкам [35], Средний Запад, который сейчас выбрасывает треть объема серы, по сравнению с поступающей в атмосферу из всех ТЭС США, может до 2000 г. снизить выбросы на 55%, заработав на этом 4–7 млрд долл. При этом, естественно, не понадобится вложения 4–7 млрд долл., потребного для такого снижения эмиссий без использования мер по экономии энергии. Общий выигрыш, таким образом, составит 11 млрд долл.

Подобные экономические прикидки можно сделать и в отношении более сложной проблемы распространения ядерных технологий [36]. Они направлены на повышение уровня безопасности в результате ограничения возможности случайных или намеренно вызванных аварий [37], а также на снижение зависимости от поставок нефти из стран Персидского залива [38]. Все эти действия влекут за собой прибыль. По выражению Марва Голдбергера (Marv Goldberger), меры по экономии энергии «сферически симметричны» с разных точек зрения — с какой бы стороны на них ни смотреть, они всегда имеют смысл. Эти меры обеспечивают удачный бизнес, даже если не брать в расчет такие проблемы, как глобальное потепление.

В большинстве случаев экологические эффекты энергосбережения могут быть достигнуты очень быстро, причем только за счет электричества. Это связано с тем, что данная форма энергии получается за счет использования нескольких видов топлива, а ее производство и доставка обходится очень дорого, это вообще самый дорогостоящий вид энергии [39]. Таким образом, ее экономия приносит наибольший выигрыш — как финансовый, так и экологический, хотя в настоящее время почти все усилия официальных и частных структур направлены на экономию прямого расхода нефти и газа. Эффект экономии электроэнергии будет особенно ярко проявляться в таких странах, как б.Советский Союз, где для получения электричества используется уголь низкого качества, а 30–40% энергии теряется при передаче на большие расстояния до пунктов ее конечного использования, которое, в свою очередь, весьма далеко от совершенства. Исходя из этого, серьезный шаг на пути противодейст-

вия глобальному потеплению может быть сделан за счет экономии электроэнергии в России, Китае и Индии.

5.5. Международные аспекты проблемы

Меры по экономии энергии осуществляются в США довольно широко, но известно об этом немного. Быстрый прогресс в деле эффективного энергопотребления объясняется в США тем, что электрохозяйство коммунальных служб имеет в этой стране чрезвычайно разветвленную структуру. Около 3500 предприятий этой отрасли находятся под юрисдикцией пятидесяти основных и нескольких сотен местных органов управления, в каждом из которых существуют свои отличия в правилах функционирования коммунальных служб. Такая ситуация оказалась благоприятной для постановки различного рода экспериментов в поисках наилучшего пути снабжения электроэнергией потребителей. Эта деятельность развивалась почти без поддержки, а часто и в условиях противодействия со стороны федерального правительства. Чаще всего инициатива исходила либо от самих служб, либо от деятелей частного сектора энергетики, а иногда со стороны администрации штата или местных органов управления.

К сожалению, во многих странах система электроснабжения представляет собой гораздо более жесткую и монолитную структуру, охватывающую производство, передачу и распределение энергии [40]. Часто это государственная структура, централизованно планируемая и неподвластная влиянию рынка, и в связи с этим не склонная к инновациям. Эта безрадостная картина в настоящее время начинает меняться, иногда довольно быстро, по мере того, как политические (а в развивающихся странах и финансовые) ограничения системы не могут более обеспечивать растущую потребность в энергии, а общественное мнение все более проникается осознанием опасности глобального потепления, кислотных дождей и ядерных технологий. В этот процесс включаются все новые страны, даже такие, где энергетика наиболее тяжело воспринимает любые инновации (например, Великобритания и Россия).

Естественно, в каждой стране энергетика имеет свои специфические черты — либо в характере конечного использования энергии, либо в структуре капиталовложений или в чем-то еще. И тем не менее, почти в 40 странах, где автору этих строк пришлось принимать участие в разработке энергетических программ, да и в ряде других стран, где работали мои коллеги, пути перехода к политике энергосбережения поразительно схожи как в техническом, так и в организационном плане. Например, Йорген Норгард (Jorgen Norgard) из Технического университета Дании недавно предложил способ экономии

почти половины электроэнергии, потребляемой в датских домах при цене около 0,6 цента за кВт-ч — это три четверти средней цены на электроэнергию (1,3 цента за кВт-ч, [41]). Ряд европейских аналитиков пришли в своих исследованиях к похожим выводам — в Швеции, например, вдвое более эффективное использование электроэнергии на конечном этапе во всех секторах хозяйства сохранит цены на уровне 1,3 цента за кВт-ч [42]. Европейцы, в среднем, пользуются электрическим освещением более экономно, чем американцы, и выключают электроприборы более дисциплинированно, но эти меры сами по себе почти не дают эффекта на макроэкономическом уровне. Львиная доля экономии получается за счет изменения технологий производства осветительных приборов, а эти изменения почти одинаковы и в Европе, и в США.

В противоположность расхожей, но неверной точке зрения, заключающейся в том, что развивающиеся страны не могут пойти по пути энергосбережения (по крайней мере, по коммерческому пути), можно констатировать, что ситуация с экономией там почти такая же, как в Европе или США. Замена ламп накаливания на компактные флюоресцентные лампы экономит 70–85% энергии на единицу освещенности вне зависимости от того, где используется лампа — в Индии или в Западной Европе. Использование суперокон [43] экономит в Бангкоке столько же энергии (если не больше) [44], сколько и в Бейкерсфилде, существенно снижая нагрузку кондиционеров.

Возможности для внедрения энергосберегающих технологий в Европе и в Японии более ограничены и обходятся дороже, чем в Северной Америке, но эти различия несущественны. Для стран Восточной Европы [45] и развивающихся государств эти возможности наиболее широки и требуют минимальных начальных затрат. Таблица 5.1 резюмирует соотношение потенциалов разных стран на пути экономии энергии. Самые интересные результаты дает анализ экономики Швеции, для которой удвоение эффективности конечного использования энергии вместе с переходом на использование исключительно природного газа и биогаза (что само по себе чрезвычайно полезно для окружающей среды) позволит вывести из эксплуатации все шведские АЭС, дающие сейчас половину национального объема энергии. Кроме того, эти меры могут обеспечить увеличение ВВП на 54%, на треть уменьшить выбросы CO_2 и снизить затраты служб электроснабжения почти на миллиард долларов в год. Эти результаты доказывают, что практически любая страна может сделать это у себя, причем даже с большим эффектом, поскольку суровый климат Швеции, ее высокий уровень индустриализации и не менее высокий уровень эффективности энергопотребления ставят эту страну на одно из последних мест в мире среди стран, нуждающихся в мерах по экономии энергии.

Таблица 5.1.

*Сравнительный анализ эффективности
энергопотребления для некоторых стран мира
(в мегаджоулях на доллар ВВП, данные за 1983 г.)*

Страны с рыночной экономикой		Страны с плановой экономикой (промышленный сектор)	
Швеция	8,6	Югославия	21,5
Франция	8,6	Польша	26,9
Япония	9,7	ГДР	29,0
Испания	11,8	Чехословакия	30,1
ФРГ	11,8	СССР	32,3
Италия	12,9	Румыния	37,6
Великобритания	17,2	КНР	40,9
США	19,3	Венгрия	49,5

Источник: Worldwatch Institute, State of the World 1987

Примечание: Приведенные данные зависят от колебаний рыночных цен, и в данном случае основаны на авторитетной оценке покупательной способности. Они не могут использоваться для сравнения технического уровня по каждому сектору экономики и, тем более, по отдельным видам товаров. Это просто качественная оценка различий между странами рыночной и плановой экономики в эффективности энергопотребления. Столь разительный контраст объясняется рядом особенностей плановой экономики, а именно:

- (1) Непродуманное ценообразование — так, для СССР цены до сих пор (на 1990 г. — прим. редакции) приводятся по уровню 1928 г. без всяких коррекций (хотя многие советские товары вполне могут быть оценены по критериям мирового рынка в ближайшие несколько лет).
- (2) В некоторых странах, например в Венгрии, используется затратная оценка стоимости промышленной продукции, что приводит к извращенной максимизации стоимости исходных продуктов на единицу конечной продукции.
- (3) Использование давно устаревших технологий (некоторые из них образца 30-х годов), особенно в основных отраслях промышленности (производство стали); низкий уровень управления и обслуживания.
- (4) Преобладание производства средств производства (группа А) над производством предметов потребления (группа Б). Группа А более энергоемка — так, в США энергоемкость этой группы в 14 раз выше, чем энергоемкость группы Б (по затратам электричества — в 5 раз).
- (5) Слабое развитие сектора сферы услуг. В США, например, этот сектор потребляет в 4 раза меньше энергии на одного работника по сравнению с промышленным сектором.

Вопрос о том, сколько именно энергии следует экономить, является предметом обширной аргументации с различных сторон, как в теории, так и на практике. Большинство дебатов на эту тему возникает в связи с уровнем современности и тщательности анализа технологий энергосбережения либо по поводу полноты учета всех аспектов конечного использования энергии. Дело в том, что излишнее обобщение этих аспектов приводит к сокращению возможностей энергосбережения на этом этапе энергетического цикла. Эти возможности дают небольшой эффект в каждом отдельном случае, но при широкомасштабном внедрении их вклад весьма заметен. В общих чертах, практический успех и прибыльность энергосбережения заметны в том случае, если потребление энергии снижается в 4-10 раз по сравнению с уровнем 1973 г.

Нижний предел получен в результате хорошо апробированного, тщательного и представленного в деталях анализа, проведенного Голдemberгом и др. (Goldemberg et al., [46]) на основании исследований в Бразилии, Индии, Швеции и США. Верхний предел взят из результатов более раннего исследования, проведенного Федеральным агентством по охране окружающей среды ФРГ. Этот анализ основан на данных 1980 г. по конечному использованию энергии, уровням эффективности, технологиям и затратам в ФРГ и включает в себя сравнительный анализ по данным некоторых других стран и отдельных регионов [47].

В последней работе принимается модель мира с населением 8 млрд человек через сто лет при среднем уровне индустриализации, который имел место в ФРГ в 1973 г., когда эта страна занимала первое место в мире по этому показателю, так же, как по уровню эффективности использования энергии. Это означает, что средний мировой уровень индустриализации предполагается в пять раз выше по сравнению с таковым в 1975 г., а для развивающихся стран прогресс оценивается в 10 раз. Разумеется, это только модель, так как для ряда стран такой прогресс нереален, а для некоторых и нежелателен. И тем не менее, если при этих условиях мир будет экономить энергию так, как это делалось в ФРГ в 1980 г., то ежегодное мировое потребление энергии через сто лет будет на уровне примерно 3,5 ТВт (3,5 млрд кВт), что составляет меньше половины мирового потребления в 1973 г. и всего лишь треть от уровня 1990 г. Более того, за исключением, пожалуй, только мировой торговли биотопливом, каждый из регионов мира (по классификации Международного института прикладного системного анализа, IIASA) получит возможность удовлетворять все (или почти все) свои энергетические нужды только за счет возобновляемых источников энергии. В 1980 г. все эти источники уже существовали, хотя их использование было на предельном уровне долгосрочной рентабельности. Короче, в будущем энергетическая проблема решается довольно просто, даже при допущении самых высоких по современным оценкам темпов экономического роста. Это решение достижимо в ближайшие несколько десятков лет только за счет внедрения энергосберегающих технологий (а в таких странах, как США, еще и использования возобновляемых источников), причем затраты будут меньше, чем за период с 1973 г. по настоящее время.

Будущая система энергоснабжения должна разительно отличаться от существующей. Не менее впечатляющая разница будет иметь место в структуре и объеме капиталовложений, а также в уровне воздействия энергетики на окружающую среду. Самые осторожные оценки IIASA предполагают уровень мирового энергопотребления в 2030 г. в два с половиной раза выше, чем в 1983 г. Эта оценка в два-три раза ниже, чем оценки конца 70-х годов, но в ней по-прежнему предполагается широкое развитие атомной энергетики (ввод в действие нового ядерного реактора каждые 46 дней), увеличение добычи угля в 3-6 раз, углеводородных топлив на величину всей нефтедо-

бычи Аляски (2 млн баррелей в день) каждые 1-2 месяца. Это приведет к серьезному истощению всех мировых запасов углеводородного сырья. Содержание углекислого газа в атмосфере в соответствии с этой оценкой увеличится к 2030 г. до 450 объемных частей/млн (ppmv), повышаясь на 50 ppmv каждые десять лет.

В противоположность подобным оценкам, сценарии эффективно-го энергопотребления, предполагающие тот же уровень роста населения и экономического прогресса, но вносящие в модель экономию энергии в масштабах 1980 г. (а это меньше, чем в настоящее время), предлагают общий уровень энергопотребления в 4-5 раз ниже. При этом предполагается сохранение огромных масс углеводородного сырья, прекращение зависимости от ближневосточных поставок нефти, полное исключение ядерной энергетики и сохранение концентрации CO₂ в атмосфере на уровне, лишь немного превышающем сегодняшний с последующим ростом на 5 ppmv каждые 30 лет. Таким образом исключается до 40% причин, вызывающих глобальное потепление. Кроме того, исключается еще несколько серьезных проблем, таких, как мировая торговля плутонием, достаточным для создания миллиона атомных бомб. Именно такое количество плутония образуется при реализации сценария IIASA.

Принимая во внимание организационные препятствия, стоящие на пути внедрения энергосберегающих технологий в развивающихся странах, многие сомневаются в реальности осуществления программ по экономии энергии в этих регионах мира. Мнение автора настоящей работы прямо противоположно — как могут развиваться эти страны без внедрения эффективного использования энергии? Вот несколько примеров.

Один из моих коллег в свое время отвечал за выработку энергетической политики на Гаити. По его оценке, использование электрoламп с учетверенной эффективностью работы позволит домовладельцам этой страны в пять раз сократить расходы на электроэнергию. Компания «Southern California Edison Company» распространила 800 тыс. таких ламп среди беднейших из своих клиентов, справедливо полагая, что это выгоднее, чем решать возникающие проблемы с помощью перестроек в системе электростанций коммунального сектора.

Ашок Гаджил (Ashok Gadgil) из Энергетического института Тата показал, что по данным обследования в Бомбее, электрическое освещение занимает 37% всех вечерних пиковых нагрузок в масштабах Индии — это 9 ГВт электроэнергии. Это часто приводит к перегрузкам в сети электроснабжения и погружению во тьму многих населенных пунктов. Это, в свою очередь, ведет к дополнительным издержкам товарoпроизводителей (остановки производства) и заставляет их вкладывать дополнительные средства в строительство резервных дизельных подстанций. И опять же, замена ламп на более эффективные полностью решает эту проблему [48]. Подобная замена на Аляске привела к снижению пиковой нагрузки более чем в 7 раз.

Руководство КНР недавно пришло к выводу, что народ должен иметь холодильники, и построило около ста заводов по их производству. Число владельцев холодильников выросло в Пекине от 2% до 60% за период 1981–1986 гг. К сожалению, конструкция основной модели была выбрана неудачно — и теперь Китай тратит миллиарды долларов на снабжение электроэнергией этой массы холодильников, теряя как энергию, так и капитал. Эти примеры особенно впечатляют, если учесть, что четверть вложений в развитие идет именно на производство электроэнергии. Огромная часть внешнего долга развивающихся стран связана с электричеством. Устаревшие методы развития энергетического цикла не дают этим странам финансовой возможности улучшать как эффективность работы оборудования, так и методы управления этим процессом. Все это приводит к тому, что, по официальным прогнозам (например, прогнозам МБРР), развивающимся странам понадобится в 8–10 раз больше денег на развитие электроэнергетики, чем они могут себе позволить истратить.

Вообще, что касается энергии, водных, минеральных и прочих ресурсов, то развивающиеся страны могут достичь своих экономических целей только в одном случае — если они с самого начала будут вводить в свою инфраструктуру всеобъемлющую систему энерго- и ресурсосбережения. Для них это будет проще осуществить по сравнению с развитыми странами, где возникают трудности на пути модернизации структур, в которые уже вложены триллионы долларов. Этот факт дает явное преимущество более отсталым странам. В практической деятельности развивающимся странам еще недостает опыта в технической и коммерческой областях — например, при закупках технологий. Не секрет, что им часто пытаются сбыть всякое старье с собственных рынков (например, опасная и аморальная практика продажи неконвенционных пестицидов в регионы, находящиеся вне сферы действия конвенции). Главные международные поставки энергетических технологий по-прежнему базируются на крупных теплоэлектроцентралях. Для руководства стран, закупающих это оборудование, по-прежнему сохраняется возможность «зарабатывать» огромные комиссионные на подобных поставках. По этим причинам политические структуры развитых стран сталкиваются с определенными трудностями при попытках поддержать экспорт эффективных технологий. Им противодействуют силы, заинтересованные в реализации неликвидов собственного рынка. И тем не менее, если развивающиеся страны надеются прервать порочный круг нищеты в мире, где капитал определяет почти все, они должны стремиться к преодолению этих досадных барьеров, причем делать это «с первой попытки», поскольку на вторую им просто не хватит средств.

Еще одно скрытое преимущество энергосбережения заключается в том, что в технологически динамичном мире товаром становится время. Время вместе с другими факторами определяет способность к

развитию и возможность внедрения новых технологий как в область предложения, так и в область спроса. Примером прогресса в области предложения является 40-процентное снижение затрат при разработке нефтяного месторождения Киттивэйк в Северном море компанией «Royal Dutch/Shell» [49]. Такой прогресс сглаживает кривую скачков цен, увеличивает резервы и снижает темпы истощения невозобновляемых ресурсов. Но ведь прогресс в области спроса, связанный с энергосбережением, приводит к тем же результатам гораздо быстрее! Оба вида прогресса снижают реальную стоимость ресурсов и освобождают капитал для вложения в другие отрасли. При этом второй вид прогресса снижает чувствительность спроса к скачкам рыночных цен, давая тем самым выигрыш во времени. Вложение капитала в такой товар, как время, способствует развитию и позволяет более безболезненно внедрять новые технологии, отодвигая решение ряда острых проблем в отдаленное будущее, а то и снимая их совсем.

5.6. По пути развития — но какого?

Вопрос о том, зависит ли экономическое развитие от роста энергопотребления, заставляет нас более детально вдаваться в определение самого характера развития. Кто будет развиваться и как, в чьих интересах и за счет кого? Ответы на эти вопросы, в свою очередь, подводят к рассуждениям о том, каковы вообще цели человеческого общества.

Таблица 5.2.

*Среднее потребление энергии на душу населения Дании
для приготовления пищи и отопления*

Год	Энергия(кВт)
1500	0,9-1,9
1800	0,9
1900	0,4
1950	0,9
1975	2,3

Источник: «Energy in Denmark 1990-2005: a case study», Report 7 (Доклад Рабочей группы Международной Федерации научных институтов для углубленных исследований, сентябрь 1986 г.)

Рассмотрим, к примеру, динамику развития энергопотребления в Дании за последние 500 лет (Таблица 5.2). Если посмотреть на три последние строки этой таблицы, то вполне можно сделать вывод о том, что экономический рост прямо связан с энергопотреблением. Но ведь не менее справедливо будет заявить, исходя из этих данных, что Дания только в 1950 г. достигла уровня энергопотребления (а, следова-

тельно, и уровня жизни)... средневековья. На самом деле, в XVI и XVII столетиях датчане сжигали массу дров и торфа на весьма неэффективных открытых очагах — ситуация, характерная для многих развивающихся стран в наше время. К 1800 г. вошли в употребление экономичные печи, которые к 1900 г. стали топиться углем. В 1950 г. датчане жгли, в основном, нефть в весьма неэкономичных печах с форсункой. К 1975 г. добавились двигатели внутреннего сгорания и потери электричества в разветвленной электросети. Этот пример показывает, что простое сопоставление энергопотребления и уровня жизни сводит вместе ряд закономерностей, которые лучше рассматривать раздельно. При этом надо отдавать себе отчет в следующем.

Количество топлива, сжигаемое в энергетических установках, не определяет количества энергии на выходе — это зависит только от КПД системы и эффективности путей передачи энергии.

Количество поставляемой энергии не определяет уровня достижения цели — он зависит от эффективности конечного энергопотребления.

Показатели работы служб энергоснабжения не дают ответа на вопрос, стоило ли вообще тратить энергию так, как она была потрачена.

Последний вопрос, на самом деле, очень важен. Мимикрия традиционных путей развития тщательно скрывает как ошибки развитых стран на этом пути, так и новые возможности, открывающиеся перед развивающимися странами с течением времени. Принято считать, что путь развития, пройденный промышленно развитыми государствами, должен быть по мере сил повторен странами, желающими добиться того же успеха в повышении жизненного уровня населения. Но при этом живые примеры — Гонконг и Сингапур — опровергают это мнение. В этих странах высокий уровень жизни, включающий в себя высокую квалификацию работников, добросовестное отношение к труду и большой процент образованных граждан, был достигнут без широкого внедрения тяжелой индустрии. Эти страны вполне могут себе позволить ввозить продукцию тяжелой индустрии, как это делают многие регионы или отдельные штаты США (например, Вермонт) или некоторые «индустриальные» страны Западной Европы (например, Дания). Честно говоря, тяжелая промышленность уже давно потеряла конкурентоспособность в развитых странах, и ее все чаще стараются сплавить в регионы, отчаявшиеся получить хоть какой-нибудь вид инвестиций. При этом совсем не очевидно, что эти регионы добьются при таком инвестировании каких-либо преимуществ.

Технологии, которые в наше время могут повысить благосостояние нации, весьма и весьма разнообразны. В большинстве случаев они менее насыщены материально, и более — информационно, по сравнению с инфраструктурой, складывавшейся в странах ОЭСР в период их становления как ведущих стран мира. Ни одна здравомыслящая страна

не будет в настоящее время копировать опыт лидеров в создании городских систем санитарии, если стране приходится начинать эту деятельность с нулевого цикла. Ориентируясь сразу на последние достижения в этой области, такая страна сможет использовать в этих целях в пять раз меньше воды [50], поступающей в систему биологической очистки стоков [51]. Точно так же, кто сейчас будет копировать систему фривзев Лос-Анджелеса, или зависимость его населения от автомобилей, не говоря уже об огромных затратах, издержках топлива, выбросах парниковых газов и, наконец, смоге. Как раз наоборот, опыт этого монстра урбанизации говорит о том, что дома следует строить недалеко от работы, шире пользоваться телекоммуникациями, а для переездов внедрять наиболее удобные и экономичные виды общественного транспорта [52]. Да и линии электропередач можно строить так, чтобы они не вторгались в черту жилой застройки, и можно найти новейшее электрооборудование с высоким уровнем эффективности работы. Число подобных примеров почти бесконечно. Короче, львиная доля инфраструктуры, которую мы считаем необходимой для экономического роста, поскольку она является частью нашего образа жизни, на самом деле давно устарела и не может конкурировать с новыми, более изящными средствами решения тех же проблем.

По счастливому совпадению те страны, которые добиваются использования только двух видов энергетических ресурсов — энергии человека и Солнца — могут достичь цели уже в обозримом будущем. Комбинирование энергосберегающих технологий с быстро развивающимися технологиями преобразования солнечной энергии — это не фантастика, а реальность нашего времени [53]. Образец экологически чистого развития — интеграция проблем энергии, воды, отходов, пищи и других на уровне небольшого поселка. Это серьезная и обнадеживающая альтернатива миграции населения в трущобы мегаполисов.

Само допущение о том, что экономическое развитие требует широкой индустриализации для получения основных материалов (а это наиболее энергоемкие отрасли промышленности) [54], причем не важно, в своей стране или в чужой, само это допущение, повторяем, нуждается в критическом анализе. Потребление стали в США на доллар ВВП сейчас ниже, чем в 18(!)60 г., и продолжает снижаться. Мы по-прежнему используем сталь, но в гораздо меньших масштабах [55]. Такая тенденция имеет место почти для всех основных материалов. Нужно ли в стране, где строительство ведется на основе местных материалов [56], много цементных заводов? А та страна, которая пошла по пути использования наиболее современных материалов — разве ей нужно много стали? Страна, связавшая свою судьбу с электроникой, обойдется без своей целлюлозно-бумажной промышленности. Общество, которое сразу поверило в такие ценности, как продление срока службы продукта, вторичная переработка, повторное ис-

пользование, минимизация исходных материалов, безотходная формовка, минимальная упаковка и так далее — такое общество исключает массу артефактов, связанных с потребностью в исходных материалах. И все-таки, какая именно доля индустриализации допустима при условии экологически безопасного развития? Ответа сейчас не даст никто, но можно с уверенностью сказать, что он будет значительно отличаться от того, что предлагают сегодня страны ОЭСР.

5.7. Заключение

Потребность в энергии не ограничивает пределы мирового развития. Можно также обойтись без «великих экспериментов», ставящих под угрозу экологическое будущее человечества. Но это справедливо лишь в том случае, если структуры уровня принятия решений начнут быстрее учиться на ошибках и работать экономически рационально, для чего, собственно, они и служат. Что касается эмиссий парниковых газов — двуокиси углерода, окислов азота и серы, то энергосбережение на конечном этапе цикла может обеспечить значительное их снижение и принести при этом прибыль вложенного капитала. Этот путь позволит противостоять глобальному потеплению гораздо эффективнее, чем это обычно предполагается, в том числе и в финансовом отношении.

Надо помнить, что экономические приоритеты — это в данном случае и экологические. Чем удачнее вложения, тем больше эффект деятельности по предотвращению глобального потепления. Чем больше финансовые потери от непродуманных вложений, тем реальнее угроза мировой катастрофы. С этой точки зрения вложения в атомную энергетику способствуют глобальному потеплению, отвлекая средства от новых технологий сбережения электроэнергии, которые исключают сжигание гораздо большего количества угля на доллар вложений по сравнению с АЭС. Для того чтобы остановить необратимые процессы в атмосфере наиболее быстро и масштабно, каждый из нас при каждой покупке должен заботиться прежде всего о собственной финансовой выгоде. Мощная методика определения приоритетов с помощью кривых рыночного предложения, использованная и в настоящей работе, пригодна лишь в том случае, если предложение безусловно включает в себя предотвращение загрязнений окружающей среды. Эта методика должна применяться до (и даже вместо) традиционных расчетов по методике «конца трубы».

Кривые рыночного предложения по энергосберегающим технологиям получаются с учетом физики процессов, вовлеченных в расчеты, которые основаны на инженерном и экономическом анализе измеряемых данных от реальных устройств. Эта методика создает существенный противовес эконометрической теории, частенько проходящей ми-

мо очевидных фактов современной жизни. Многие ведущие газеты мира часто выходят с крупно набранными заголовками вроде: «Эксперты утверждают — противостояние глобальному потеплению потребует триллионных затрат!» — и помещают под ними статьи ведущих экономистов. При внимательном рассмотрении материалы такого рода грешат небольшой подтасовкой, выдавая допущение за факт. Допущение о том, что экономия топлива стоит дороже сжигания, просто-напросто игнорирует массу эмпирически накопленных данных, утверждающих диаметрально противоположное мнение.

Откуда такие расхождения? Все дело в разнице подходов эконометристов и ученых-естественников, а вместе с ними и инженеров. Эконометристы свято веруют в то, что истина — в коэффициентах, таких, как исторически сложившаяся растяжимость цен в области спроса. На самом деле, эти цифры отражают только одно — модели поведения больших масс людей в прошлом. Эконометристы полагают, что эти модели поведения — нечто вроде экономической истины, и, следовательно, полностью определяют будущее. В противоположность такому подходу ученые-аналитики из области естественных наук расценивают будущее не в виде неотвратимой судьбы, а как результат выбора. Они полагают, что модель поведения людей в прошлом не работает, если условий, в которых она работала, больше не существует, а поскольку цель всякой политики — изменить вокруг все, что только можно, то, следовательно, эта модель представляется весьма ограниченным и страшно неточным инструментом для уяснения будущих возможностей. Это тем более справедливо, когда новые технологии и механизмы их доставки существенно расширяют круг возможностей выбора.

Так, эконометристы, к примеру, исследуя прошлое, решают вопрос, когда в последний раз имело место резкое падение объемов сжигаемого топлива. «Ага! — восклицают они, — В последний раз это случилось после арабского эмбарго на поставки нефти в 1973-1974 гг. Цены выросли в 4 раза, начался спад, усилились нищета и безработица. Следовательно, если мы хотим добиться нового снижения объема сжигаемого топлива, чтобы достичь, скажем, целей Торонтской конференции по CO₂, то надо просто еще раз резко поднять цены. Ну что ж, давайте, мы сейчас все подсчитаем — на сколько надо взвинтить цены и какой уровень спада, нищеты и безработицы нам придется допустить для достижения этих весьма благородных целей».

Выглядит это несколько странно, но, тем не менее, так оно и делается. Именно к этому приводит использование упомянутых моделей, а потом появляются дурацкие заголовки в газетах. Относясь с полным уважением к достоинству и квалификации эконометристов, нельзя, тем не менее, пройти мимо того факта, что множество служб и промышленных производств и по сей час продолжает использовать энергосберегающие технологии, з а р а б а т ы в а я на этом уже бо-

лее двух лет, чего никак не могло случиться по мнению уважаемых эконометристов, считающих, что сжигать топливо все-таки дешевле, чем беречь его.

Точно так же неверен тезис этих экономистов о том, что, если бы использование энергосбережения было бы экономически эффективным при современном уровне цен, то все мы уже пошли бы по этому пути. Это вывод из так называемой «теории идеального рынка». Мои оппоненты закрывают глаза на недостатки реальных рыночных отношений (так же, как и на пути их исправления). А ведь эти недостатки исследуются многими экспертами по энергосберегающим технологиям. Среди препятствий можно назвать недостаток информации, плохо разработанную инфраструктуру доставки, извращенное законодательство, в соответствии с которым коммунальные службы, инвестирующие в энергосбережение, подлежат штрафам, разобщенность рынка, учетные ставки, которые в десять раз выше для энергосберегающих технологий по сравнению с поставками энергии, и т.д. Экономисты все это считают либо несуществующим, либо, по крайней мере, нематериальным, гипотетическим, зато числят эффективность мер по экономии при ценах отдаленного будущего как реальный факт. Таким образом они прячут истину даже от себя, не говоря уже о тех, к кому обращены их исследования... Вспоминается эпизод из жизни одного экономиста, который гулял как-то в парке со своей воспитанной внучкой. Девочка заметила на земле десятифунтовую банкноту и спросила: «Дедушка, можно, мы возьмем эти деньги себе?» — «Не стоит беспокоиться, внученька, — ответил экономист, — если бы эти деньги были настоящими, их обязательно уже кто-нибудь взял бы».

Наверняка именно эта «теория», столь далекая от здравого смысла и каждодневного опыта, виновата в распространении ложного мнения о том, что энергосбережение в больших масштабах потребует огромных затрат и уж никак не может быть экономически выгодным. В результате председатель Экономического совета при Президенте Буше заявил недавно на Конференции по глобальному потеплению, состоявшейся в Белом Доме, что достижение целей Торонтской конференции по снижению выбросов CO_2 потребует в США ежегодных затрат в 200 млрд долл. Цифра-то, может быть, и верная, вот только знак не тот — на самом деле, национальный доход США у в е л и ч и т с я на 200 млрд долл. в год (исключая устранимые издержки при попытках, может и неудачных, приспособиться к грозящим изменениям климата).

Есть какая-то высшая ирония в том, что правительства стран, наиболее приверженных рыночным отношениям и экономическому рационализму, больше всех препятствуют мерам по противодействию глобальному потеплению — и жестоко ошибаются, не принимая во внимание именно экономику — практическую, прошедшую полевые испытания экономику эффективного использования энергии. Это не

забавный схоластический казус, это настоящий интеллектуальный скандал: политическая линия, имеющая огромное значение, основана на негодной теории, в то время как правительства не желают замечать решения, буквально валяющегося у них под ногами, реальных фактов, доказывающих возможности и выгоды ресурсосбережения.

К сожалению, мы до сих пор нуждаемся в посредниках при доведении технологических вопросов до уровня принятия решений. На этом уровне лишь немногие отдают себе отчет в возможностях современных энергосберегающих технологий. Если бы таких людей было больше, то можно было бы хотя бы изменить программы конференций по глобальному потеплению, на которых энергосбережению уделяется примерно 1 процент внимания. В этот момент аргументы сводятся к следующему: да, энергосбережение важно и желательно, но эффект, по всей вероятности, оно даст не скоро, причем небольшой, а стоит это дорого, внедрение неудобно, выгоды получают лишь частные лица, поэтому давайте заниматься делом (насаждать новые бюрократические структуры, которые будут учить людей жить), а с этим подождем. Таким вот путем идут многие правительства, добиваясь замены рыночного регулирования на «дирижизм», развития — на прозябание, заведомого выигрыша — на неоправданный риск и доходов — на расходы.

Противоядие от всей этой отравы только одно — истина проста. Вот она: сегодня беречь топливо выгоднее, чем сжигать его, устранение загрязнений атмосферы за счет сохраненного топлива не требует затрат, а наоборот, приносит прибыль, поэтому энергосбережение может быть — и должно быть — предметом рыночных отношений в самых широких масштабах.

Автор этой статьи по образованию физик, а не экономист. Несмотря на неоклассическую склонность, мне импонирует взгляд на экономистов как на людей, которые не спят ночами, ломая голову над тем, как вставить в теорию очевидные факты практической жизни. При этом за последние пятнадцать лет мне лишь однажды довелось пережить серьезную эволюцию взглядов, когда после нефтяного шока рынок, даже со всеми его недостатками, справился с последствиями кризиса весьма успешно. Энергосбережение и возобновляемые источники энергии захватили рынок вопреки массе барьеров, заботливо воздвигнутых правительством, которое своими действиями добилося прямо противоположного результата. Возникает вопрос, а не нуждаемся ли мы в действительно консервативном правительстве, которое принимало бы рынок всерьез? Рынок хорош, его развитию надо способствовать (лучше поставленная информация, действительно здоровая конкуренция и другие меры), но не надо забывать: главная цель рынка — выгода, а не справедливость. Рынок прекрасно справляется с правильным размещением и рациональным использованием минеральных ресурсов, но в ряде случаев его влияние удручает. Так, если

рынок и сделал что-либо хорошее по отношению к китам или другим представителям вымирающих видов живой природы, то, клянусь Богом и своими внуками — это была чистая случайность.

Мне кажется, что в заключении уже отдана достойная дань читателям, которые понимают всю прелесть иронии истории. Но вот еще пример. В дни, когда появилась книга «Пределы роста» — пророческая книга, которую до сих пор оплевывают те, кто ее не читал или пропустил ее главную мысль о важности приспособления — в те дни было много таких людей, которых мы с коллегами прозвали «рогоносцами изобилия». Рогоносцы говорили, что не стоит переживать по поводу проблем перенаселения, истощения ресурсов, загрязнения среды — все это будет решено с помощью грамотного применения улучшенных технологий. Кое-кто из нас возражал, что технология, даже самая мощная, не может быть панацеей от этих бед — она может быть слишком дорогой, может иметь побочные эффекты (по выражению Гаррета Хардина (GarretHardin), «последствия, о которых мы не думаем», но чье существование отрицаем столь долго, сколь это возможно»). За это нас прозвали «технологическими пессимистами» (в разрез с определением Джеймса Бранча Кейбелла (James Branch Cabell): «оптимист заявляет, что мы живем в лучшем из миров, а пессимист опасается, что так оно и есть») как отрицающих реальность технического прогресса.

Сегодня, однако, мы, бывшие «технологические пессимисты», боремся за признание и внедрение новых технологий, более эффективных, чем те, которые когда-то защищались «рогоносцами изобилия», более мощных, чем мы тогда могли себе представить. Эти сравнительно компактные, гибкие и дешевые технологии, похоже, вполне в состоянии решить энергетическую проблему, проблему водных ресурсов, проблемы многих видов стратегического сырья и, возможно, ряд других не менее терзающих нас проблем (например, сельское хозяйство и национальная безопасность). Короче, мы поменялись с «рогоносцами» местами — теперь они выступают в качестве «пессимистов», успешно доказывая всем, что либо наших технологий не существуют в природе, либо они не работают, либо они экономически неэффективны, либо не найдут спроса, либо потеряют всю свою популярность с течением времени.

Произошла абсолютная смена ролей. Но нам, ныне «технологическим оптимистам», следует помнить об этой инверсии, чтобы не просмотреть опасности, грозящие на этом пути — пределы технических возможностей, ограниченная способность рыночного механизма к справедливому решению проблем, переоценка общественных ценностей и наследственная моральная неустойчивость человеческой природы.

Глава 6

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ВИДЫ ЭНЕРГИИ: ПОСЛЕДНИЕ КОММЕРЧЕСКИЕ УСПЕХИ В США И ПЕРСПЕКТИВЫ В БУДУЩЕМ

Карло ЛаПорта (Carlo LaPorta)

«...Уже существуют технологии, позволяющие вырабатывать электрическую и тепловую энергию (с температурами до 1400 град. С) с помощью использования природных ресурсов, имеющихся в наличии в удаленных уголках почти любой страны. Потребность в энергии может удовлетворяться без постоянной транспортировки горючего на большие расстояния и без строительства протяженных линий электропередач, а также без выброса огромных количеств парниковых газов... Чтобы это утверждать, вовсе не нужно обладать высокой квалификацией. Технические возможности имеются. В экономическом плане возможности более ограничены, но совсем не в такой степени, как полагает большинство наблюдателей и аналитиков...»

С самого начала индустриальной эпохи экономическое развитие стран зависело от совершенствования способов получения энергии. В недалеком будущем увеличение численности населения и ускорение темпов экономического развития могут стимулировать еще более быстрый рост потребности в энергии. Поэтому в наше время, по мере того как становится все более очевидным, что наша планета нуждается в осторожном отношении, устаревшие пути экономического развития необходимо корректировать. В связи с этим очень важно, чтобы чело-

вещество использовало имеющиеся энергетические ресурсы намного более эффективно, чтобы оно больше полагалось на «чистые» источники энергии, а не на ископаемые виды топлива, которые ныне господствуют в глобальном энергопроизводстве. Практически любой международный форум в последние годы, который имел отношение к проблеме глобального потепления, приходил к подобному выводу.

Данная глава посвящена последним достижениям в области использования возобновляемых источников энергии на коммерческом рынке — в основном в США. Цель состоит в том, чтобы показать потенциальные возможности технологий, дающих возобновляемую энергию, которые могут сделать больший вклад в дело снабжения планеты энергией в ближайшей перспективе, чем обычно предполагают.

Хотя обычно все согласны с тем, что технологии производства возобновляемых видов энергии нужны, и признают, что многочисленные подобные системы уже были успешно продемонстрированы, многие из тех, кто разрабатывает стратегию в данной области, все еще не верят в то, что подобные технологии в состоянии привести к заметному сокращению использования ископаемых видов топлива в ближайшие три десятка лет. Недавно опубликованное Каирское соглашение, достигнутое на Каирской конференции по подготовке к климатическим изменениям, состоявшейся в декабре 1989 г., говорит о необходимости «развивать и расширять» технологии выработки возобновляемых видов энергии [1]. Эти слова хорошо иллюстрируют точку зрения авторов окончательного текста Соглашения. Они считают, что подобные технологии еще требуют развития, прежде чем они станут конкурентоспособными. Но это просто неверно.

Постоянные призывы к дальнейшим техническим усовершенствованиям — это просто тактика проволок для тех, кто не верит, что альтернативы ископаемым видам топлива надежны и менее дорогостоящи уже теперь. Конечно, некоторые технологии потребуют дальнейшего усовершенствования или значительного удешевления, чтобы обладать более широкой конкурентоспособностью, но экономика может полагаться на надежность уже имеющейся техники, готовой к использованию хоть сегодня. Признание этих близких возможностей, принятие мер к их использованию позволят направлять ресурсы на создание промышленной инфраструктуры, которая будет способствовать появлению более развитых форм таких технологий в будущем.

Рабочая группа 3 по стратегии реагирования Межправительственной группы экспертов по проблемам изменения климата (IPCC) в своем докладе демонстрируют некоторую осведомленность в области подобных систем и их возможностей. Но ссылки, содержащиеся в докладе Комитета, не отражают, насколько много возобновляемая энергия может дать уже в ближайшем будущем. Здесь игнорируется тот факт, что десятки миллионов, а в дальнейшем — сотни миллионов систем, поставляющих возобновляемую энергию, могут коренным образом изменить энергетический баланс Земли.

6.1. Почему следует использовать возобновляемые источники энергии?

Помимо болезненных перемен и дорогостоящих мер приспособления к новым условиям, которые станут необходимыми в случае осуществления наихудших вариантов сценария глобального потепления, существует и немало других связанных с природной средой причин, по которым мы должны как можно скорее обратиться к широкому использованию чистых источников энергии. Люди знают о том, что загрязненный воздух действует на города удушающе, что насыщенные двуокисью серы облака угрожают лесам, что продукты нефтепереработки содержат ядовитые вещества. Вопрос решается просто: широкое применение возобновляемых видов энергии приведет к сокращению потребления ископаемого топлива, а тем самым и к ликвидации связанных с ним проблем в здравоохранении и экологии. Далее, помимо экологической выгоды, использование чистых источников энергии будет означать ее удешевление. Для стран, стремящихся повысить невысокий уровень жизни населения, станут доступными более приемлемые источники энергии. В развивающихся странах крестьяне и их объединения, занимающиеся обработкой продуктов сельского хозяйства, в сельских местностях ныне просто не в состоянии покупать дизельное топливо по цене 1,60 долл. за галлон. Так же, как в течение всей истории изменялся климат, так и изменение источников энергии приведет к лучшим, более дешевым альтернативам.

Межправительственная группа экспертов по проблемам изменения климата наметила состоящую из трех пунктов программу действий, направленных на сокращение выбросов двуокиси углерода в атмосферу. Вот эти пункты:

- 1) Увеличение эффективности энергоснабжения, преобразования энергии и ее конечного использования.
- 2) Замена традиционных видов топлива такими источниками энергии, которые уменьшают выбросы парниковых газов.
- 3) Снижение количества парниковых газов путем их устраниения, рециркуляции в замкнутом цикле или фиксации [2].

Во всех этих случаях технологии, основанные на возобновляемых видах энергии, способны внести немалый вклад. В зависимости от своего местоположения потребитель, стремящийся к высокой эффективности, может заказать, чтобы ему построили здание, широко использующее солнечную энергию и естественную вентиляцию, что сократит расход энергии на 40-80% в сравнении с обычными зданиями. Более эффективные системы выработки и передачи электроэнергии будут все больше опираться на возобновляемые ее источники, которые точно соответствуют спросу и могут быть подключены малыми «дозами». В присутствии сфокусированного солнечного света интенсивность процесса разложения органических веществ в водных растворах возрастает. Обработка металлов (поверхностное закаливание) при помощи сфокусированного светового потока доказала свою эффективность.

Американские исследователи установили, что в присутствии сфокусированного солнечного света, благодаря воздействию солнечных фотонов (их называют «солнечными пулями») с полосой частот между 300 и 400 нанометров происходит усиление фотохимических реакций, приводящих к разрушению диоксида.

Так как при помощи технологий возобновляемой энергии можно производить жидкие виды горючего и вырабатывать тепло и электричество, в любом секторе экономики, почти в любой области применения возникает возможность замены ископаемых видов топлива. Имеющийся сегодня коммерческий опыт с уже применяемыми технологиями возобновляемых видов энергии подтверждает в ряде определенных областей способность подобных систем к достойному соревнованию с системами, основанными на сжигании ископаемого топлива. И, действительно, в тех или иных отраслях технологии возобновляемой энергии уже стали предпочтительными, примером чему могут служить небольшие энергетические системы в удаленных районах, пользующиеся солнечными фотогальваническими панелями. Их предпочитают потому, что они требуют меньше ресурсов — денег, материалов, рабочей силы, чтобы выработать должное количество энергии для выполнения поставленной задачи. Широкий круг новых технологий и совершенствование старых порождает надежду на рост конкурентоспособности со стороны возобновляемых видов энергии, особенно в будущем, когда цены на ископаемые виды топлива возрастут.

Наконец, технологии возобновляемых видов энергии могут играть роль в разработке стратегии фиксации и изоляции побочных продуктов. Так, разработана методика вырубki и сжигания целых деревьев на специальных плантациях, созданных для энергопроизводства. (Отметим, что использование деревьев, растительности и любых иных органических продуктов или отходов в качестве топлива именуется применением «биомассы»). Используя генетически отобранные породы быстрорастущих деревьев, подобная система устраняет необходимость рубки и распиловки деревьев (тем самым снижая стоимость древесного топлива), и в ходе этого биомассового цикла происходит поглощение двуокиси углерода и исчезает двуокись серы, вызывающая кислотные осадки [3].

К счастью, десятилетие спустя после энергетического кризиса 1970-х годов, который стимулировал огромные вложения в источники альтернативные нефти, раздались призывы к пересмотру обычных систем энергоснабжения. Самыми «чистыми» из них были такие технологии возобновляемых видов энергии, которые основывались на обратимости естественных энергетических потоков, порождаемых постоянным излучением Солнца. Во внешней атмосфере Земли солнечная постоянная — количество энергии, поступающей от светила — достигает 1355 Вт на 1 кв.м, а на самой поверхности Земли максимальное количество солнечной энергии в безоблачный день составляет 1000 Вт на кв.м [4].

Солнечное излучение, как прямое, так и рассеянное, может улавливаться непосредственно, с использованием технологий, основанных

на солнечной энергии, давать электричество или тепловую энергию, или опосредствованно, через биомассу, ветер или энергию воды. Деревья и другие растения, обычно собирательно именуемые «биотой», используют солнечное излучение для работы естественных «химических заводов», которые поставляют биомассу, идущую на прямое сжигание и получение тепловой энергии, или же в качестве «пищи» для процессов превращения в любой из тех же продуктов, которые ныне получают из сырой нефти, природного газа или угля. Неравномерное распределение излучения возбуждает воздушные потоки, образующие ветер, который также можно превращать в механическую, тепловую или электрическую энергию. И, в завершение, солнечное излучение порождает цикл испарения и конденсации влаги, создающий осадки и, в конце концов, служащий гидроэнергетическим целям.

Таблица 6.1.

*Технологии, использующие возобновляемые
источники энергии, и их применение*

Технология и типичный масштаб
(размер) системы

Область применения

**Фотопреобразование энергии
с использованием гелиотехники**

«Активные» гелиоустановки (гелиоконцентраторы) с тепловой мощностью от 1 до 500 кВт
Плоские гелиоконцентраторы.
Гелиоконцентраторы на вакуумных трубках.
Системы сезонного накопления.

Нагревание воды.
Подогрев бассейнов.
Отопление и охлаждение помещений
Получение тепла для промышленного производства.
Сушка зерна.

«Пассивные» гелиоустановки
(типа «горячего ящика»)
с тепловой мощностью
от 1 до 500 кВт

Улавливание и преобразование солнечной энергии.
Накопление и распределение тепла.
Естественная вентиляция

Дневное освещение.
Отопление помещений.
Охлаждение помещений.

Тепловые гелиоустановки с
электрической мощностью от 4 кВт
до 100 МВт

Гелиоконцентраторы с вогнутыми
параболическими отражателями.
Геоконцентраторы с составными
параболическими отражателями.
Гелиоконцентраторы с фокусирующими линзами.
«Солнечные пруды».

Тепло для промышленного производства.
Энергоснабжение строительства.
Производство электроэнергии.
Ирригационные насосы.
Производство топлив и химических веществ.
Опреснение воды.
Ликвидация токсичных отходов.

**Фотоэлектрические гелиоустановки
(с мощностью от Вт до МВт)
(солнечные батареи)**

Плоские коллекторы.
Гелиоконцентраторы.

Бытовая электроника.
Дистанционное питание
Сети коммунального электроснабжения.

Фотопреобразование энергии с использованием биомассы (тепловая мощность от кВт до сотен МВт)

Анаэробное гниение.
Получение электроэнергии
Химическое разложение и дистилляция (ректификация).
Пиролиз, сжижение, газификация топлива.
Гидрогенизация (гидрирование).
Прямое сгорание.

Ветроэнергетические установки (мощностью от 100 Вт до МВт)

Турбины с горизонтальной осью.
Турбины с вертикальной осью.

Геотермальные электростанции (мощностью от кВт до десятков МВт)

Термальные воды.
Сухие породы.
Геологические породы под давлением.
Магма.

Гидроэлектрические станции (от десятков Вт до тысяч МВт)

Плотинные ГЭС.
Деривационные системы.

Электростанции, использующие энергию океана

Волны (энергия установки от 3 до 500 кВт).
Приливы (энергия ПЭС достигает МВт).
Преобразование тепловой энергии океана (от десятков до сотен МВт).

Тепловая энергия.

Ферментация/дистилляция за счет совместной генерации и использования энергии фотосинтеза растений.

Жидкие и газообразные топлива.
Исходные материалы для химических веществ.

Механические насосы.

Электрэнергия для передачи на расстояние и коммунальных сетей.
Тепловая энергия.

Коммунальное электроснабжение.
Отопление жилья и промышленных объектов.

Производство метана из рассола под давлением пород.

Передача электроэнергии на расстояние.

Коммунальное и промышленное электроснабжение.

Коммунальное энергоснабжение.
Механическая энергия.

Дистилляция.
Мелкомасштабное энергоснабжение.

Источник: Международное агентство по энергетике [5].

В таблице 6.1 перечислено большинство доступных технологий, основанных на возобновляемых источниках энергии, и цели, которым они могут служить. Список является достаточно широким, так как подобные технологии способны вытеснить ископаемые виды топлива в большинстве областей их применения. А в некоторых случаях, несомненно, технологии возобновляемых видов энергии представляют собой наиболее эффективную методику, превосходящую все возможности систем, основанных на сжигании ископаемого топлива.

Хотя и нет такой энергетической технологии, которая была бы совершенно безвредна для окружающей среды, слежение за воздействием на нее многих уже осуществленных проектов, связанных с возобновляемой энергией, позволяет документировать такое воздействие. Очевидно, что многие виды систем возобновляемой энергии, особенно преобразование энергии Солнца, обладают намного меньшим воздействием на среду, чем обычные системы. Министерство энергетики США в недавно проведенном исследовании нескольких технологий

выработки электроэнергии отмечает различия между ними. Эта оценка охватывает полное количество двуокиси углерода от ее «зарождения» до «кончины» во всех процессах работы электроэнергетической системы. Результаты анализа, приведенные в таблице 6.2, дают представление о том, насколько менее вредоносными являются технологии возобновляемых видов энергии, когда речь идет о выбросе парниковых газов.

Таблица 6.2 показывает, почему стратегия противодействия выбросу парниковых газов должна предоставлять приоритет замене ископаемого топлива на системы возобновляемой энергии. Солнечнотепловая электростанция выделяет на каждый гигавайт-час поставляемой энергии в 134 раза меньше двуокиси углерода, чем работающая на естественном газе (1 гигавайт равняется 1 миллиарду ватт, выработанному в 1 час). Министерство энергетики США установило, что при работе «дровяной» теплоэлектростанции, использующей специально выращенные быстро созревающие деревья, за все время жизни этой электростанции будет поглощаться 159,9 т двуокиси углерода на 1 ГВт-ч получаемой энергии. Это вычисление основано на практике применения новых пород быстрорастущих деревьев, прорастающих от корневой системы. Подлинная эффективность еще требует определения, но потенциально уже существует система с биологическим топливом, которая в состоянии поглощать почти всю двуокись углерода, ею же самой и выделяемую.

Таблица 6.2.

*Выброс электростанциями двуокиси углерода
с учетом добычи топлива, строительства и эксплуатации
(в тоннах CO₂ на Гигавайт-час выработки)*

Технология	Добыча топлива	Стро- ительство	Эксплуа- тация	Всего
Условный (стандартный) уголь	1,0	1,0	962,0	964,0
Сжигание в пласте методом атмосферного сжижения	1,0	1,0	960,9	962,9
Полная газификация со смешанным циклом	1,0	1,0	748,9	750,9
Работающая на нефти	—	—	726,2	726,2
Работающая на газе	—	—	484,0	484,0
Использующая тепловую энергию океана	нет	3,7	300,3	304,0
Паровая геотермальная	0,3	1,0	55,5	56,8
Малая ГЭС	нет	10,0	нет	10,0
Атомная на кипящей воде*	1,5	1,0	5,3	7,8
Использующая энергию ветра	нет	7,4	нет	7,4
Фотогальваническая	нет	5,4	нет	5,4
Солнечно-тепловая	нет	3,6	нет	3,6
Крупная ГЭС	нет	3,1	нет	3,1
Дровяная (при специально выращенных лесах)	-1509,1	2,9	1346,3	-159,9

Источник: Министерство энергетики США [6].

*) Цифры по атомной энергетике служат предметом обсуждения (см. главу 9).

Таблицы 6.1 и 6.2 подтверждают мнение, согласно которому технологии, основанные на возобновляемых источниках, в состоянии поставлять количество энергии, потребное современной экономике, в то же время выделяя в окружающую среду значительно меньше парниковых газов. Тогда откуда же весь этот скептицизм относительно будущего возобновляемой энергии?

6.2. Будущее возобновляемой энергии

Насколько возможно и осуществимо вытеснение ископаемого топлива возобновляемыми источниками энергии? Ныне возобновляемые источники поставляют около 20% первично потребляемой во всем мире энергии, главным образом, за счет использования биомассы и гидроэнергетики [7]. В условиях высокоразвитых в промышленном отношении Соединенных Штатов возобновляемые источники удовлетворяют около 9% первично потребляемой энергии. В Австрии, Австралии, Швеции, Дании, Канаде и Швейцарии эти источники, не включая гидроэнергетику, дают от 1 до 5% ее [8]. Как ни скромны эти цифры в общем энергетическом балансе, они все же имеют значение и указывают на существование потенциальной возможности для своего дальнейшего роста.

Учитывая то далеко не первое место, которое сейчас занимают возобновляемые источники энергии, а также гигантские финансовые вложения, уже сделанные в инфраструктуру энергетики, основанной на сжигании ископаемого топлива, всякое предположение о том, что возобновляемая энергия может превзойти производительность традиционной энергетической системы, выглядит безответственным. Таким образом, нелегко найти прогноз, который указывал бы на что-либо большее, чем незначительный рост выработки возобновляемой энергии в ближайшие десятилетия. Особенно убедительным это выглядит в отношении развивающихся стран, где предвидится существенный прирост энергетики в предстоящие тридцать лет и где ископаемые топлива, по-видимому, смогут удовлетворять подобные новые потребности.

Но можно ли считать безответственным мнение, согласно которому экономике следует начинать сдвиг в сторону возобновляемой энергии лишь тогда, когда ее ресурсы станут уже далеко превышать запасы горючих источников? Ведь в любой стране мира взятые вместе солнечная энергия, биомасса, геотермальные источники [9], гидроэнергетические ресурсы, потенциал ветра превосходят запасы нефти, природного газа, угля и урана. Даже в Соединенных Штатах, одной из богатейших ископаемым топливом стран, возобновляемая энергия занимает ведущее место в перспективе использования энергетических ресурсов в следующем столетии. Таблица 6.3 показывает, что США имеют в наличии более 614000 млрд баррелей нефтяного эквивалента (БНЭ) в виде возобновляемой энергии в сравнении с 44000 млрд БНЭ — в традиционном виде.

Под «общими запасами» в таблице 6.3 имеется в виду сумма установленных и еще не открытых ресурсов, которые, с учетом экономических аспектов, могут быть добыты при помощи уже имеющейся или новой техники в рамках обозримого будущего. (Количество ресурсов возобновляемой энергии основано на годовом производстве за определенный период времени, соответствующий прогнозам по обычным ресурсам, разработанным федеральными органами, выполнившими такую оценку). Более реалистичное определение энергетических резервов может быть получено путем ограничения оценки энергетических резервов только теми, что являются «доступными», то есть могут быть почерпнуты с помощью уже ныне существующей техники или той, что возникнет в ближайшем будущем.

Таблица 6.3.

*Общие базовые энергетические ресурсы США
(в миллиардах баррелей нефтяного эквивалента)*

Источники энергии	Баррели нефтяного эквивалента
Геотермальный	258263
Фотопреобразуемый (солнечный и биомасса)	178438
Ветер	176910
Сланцевое масло	27518
Уголь	15079
Нефть	477
Природный газ	294
Торф	244
Уран	203
Падающая вода (ГЭС)	170

Источник: Корпорация «Meridian» по заказу Министерства энергетики США [10].

Для того чтобы приблизить к реальности расчеты доступных ресурсов, представленные в таблице 6.4, из данных устранены показатели, охватывающие территорию, уже занятую городским и пригородным строительством, а также ту, где могут возникнуть другие виды землепользования, конкурирующие с выработкой и использованием возобновляемой энергии. Более того, учтены также и законы, ограничивающие размещение энергетических производств на территориях заповедников; потенциал ГЭС серьезно ограничен исходным предположением, согласно которому определенные общественные группы могут возражать против строительства плотин и их влияния на природную среду в новых местах размещения. Как можно видеть, эти и другие принятые во внимание факторы весьма серьезно ограничивают потенциалы геотермальных и ветровых систем. Потенциал же систем фотопреобразования (солнечной и биомассы) остается весьма высоким, подавляющим образом превосходя все иные будущие энергоресурсы США.

В согласии с практикой, позволяющей учитывать лишь те энергоресурсы, существование которых «доказано», которые доступны эксплуатации с учетом экономических факторов и с применением уже ком-

мерчески опробованной технологии (а это — стандартная методика правительственных органов США, связанных с оценкой энергоресурсов), аналитики корпорации «Meridian», которые проводили данное исследование, накладывали еще большие ограничения на свои оценки, чтобы иметь право назвать подлинные «резервы энергии». Основываясь на уровне потребления энергии в США в 1987 г., можно утверждать, что общее количество резервов, называемое в таблице 6.5, должно удовлетворять потребности США в течение 78-летнего периода. Возобновляемые источники составляют до 10,4% этой общей величины, то есть на несколько процентов превышают их ныне уже существующий вклад в энергетику страны.

Таблица 6.4.

*Доступные энергетические ресурсы США
(в миллиардах баррелей нефтяного эквивалента)*

Источник энергии	Баррели нефтеэквивалента
Фотопреобразуемый (солнечный и биомасса)	101153
Уголь	6577
Геотермальный	3928
Сланцевой масло	2018
Ветер	870
Нефть	190
Природный газ	153
Уран	126
Торф	61
Падающая вода (ГЭС)	27

Источник: тот же, что в табл. 6.3 [11].

Таблица 6.5.

*Консервативная оценка энергетических ресурсов США
(в миллиардах баррелей нефтяного эквивалента)*

Источник энергии	Баррели нефтеэквивалента
Уголь	908,0
Фотопреобразование (биомасса)	57,7
Геотермальный	42,5
Природный газ	39,9
Нефть	26,9
Падающая вода (ГЭС)	10,0
Уран	7,3
Фотопреобразование (солнечное)	3,0
Ветер	1,0
Сланцевое масло	1,0
Торф	1,0
Итого:	1096,2

Источник: тот же, что в табл. 6.3 [12].

Оценка резервов, содержащихся в таблице 6.5, является довольно консервативной, так как она основана на существующих ныне рыночных ценах ископаемого топлива и, тем самым, ограничивает вероятное проникновение на рынок технологий, связанных с возобновляемыми источниками энергии. В связи с уровнем цен, принятым в данном исследовании, никакие новые солнечно-тепловые и фотоэлектрические установки в круг рассмотрения не допущены, а только уже существующие системы. Более того, в число резервов не включены новые гидроэлектрические мощности, а по выработке тепла солнечного происхождения названы весьма пессимистические числа. (Например, 28 долларов за гигаджоуль, что составляет преувеличение по меньшей мере в два-три раза, учитывая нынешнюю стоимость параболических вогнутых гелиоконцентрирующих систем, устанавливаемых сегодня в США).

И несмотря на то что все подобные допущения сильно ограничили количество возобновляемой энергии в ее общих резервах, таблица 6.5 показывает: после угля на втором месте по запасам в США стоит биомасса, а за ней — геотермальная энергия. Эти две категории превышают резервы, представляемые природным газом и нефтью. Более того, сопоставляя энергоресурсы по таблице 6.5 с доступными ресурсами по таблице 6.4, можно видеть, насколько большой потенциал в будущем принадлежит возобновляемым формам энергии.

Подобное мнение подкрепляют данные таблицы 6.4, которые показывают, что доступные ресурсы биомассы и солнечной энергии достигают 101153 БЭН, то есть примерно в 111 раз превышают количество угля, называемого в качестве резерва в таблице 6.5. Кроме того, следует учитывать, что доступные для использования возобновимые источники энергии по существу бесконечны. Солнечное излучение будет продолжать падать на Землю непрерывно еще миллионы лет, а вот запасы угля в конце концов истощатся. Если же возникнет политика, налагающая ограничения на сжигание угля, то тогда значение возобновляемых резервов еще более повысится.

Такой обзор будущего американской энергетики можно использовать для того, чтобы показать, что базовые ресурсы возобновляемой энергии в любой стране обладают способностью доминировать над имеющейся системой энергетики, основанной на горючих топливах. Трудность для тех, кто разрабатывает стратегию, однако, состоит в том, что необходимо решать, насколько быстро темпы технических и экономических перемен приведут к перемещению возобновляемых ресурсов из таблицы, перечисляющей вообще существующие ресурсы, в таблицу реальных резервов.

Можно предсказать, что возобновляемая энергия будет много быстрее распространяться на рынке, чем это предрекают аналитики. Подтверждение такому утверждению можно найти в опыте последних пятнадцати лет, то есть периода, когда немало технологий, основанных на возобновляемой энергии, доказало свою успешность как в техническом, так и в экономическом плане.

6.3. Энергия ветра

Энергия ветра может служить иллюстрацией такой технологии, связанной с возобновляемыми источниками, которая за короткое время уже достигла экономической конкурентоспособности. Пять десятков лет назад ветровые системы во многих странах были обычными, но они использовались для перекачки воды, в качестве источника механической энергии, а также для мелкомасштабной выработки электричества. Но затем почти повсеместно, кроме очень ограниченных областей, ее вытеснило с рынка дешевое ископаемое горючее.

Судьба снова изменилась, когда в 70-х годах исследования и техническое развитие ветровой энергетики возродились, а высокие цены на нефть и природный газ в Калифорнии создали рыночные возможности в потребительском секторе экономики. В 1978 г. федеральные законы США позволили независимым производителям электричества избегать обременительных правил [13], а стимулирующие налоговые льготы, предоставляемые федеральными и местными властями, открыли для вкладчиков капитала привлекательные возможности к снижению налоговых платежей в области создания систем, основанных на возобновляемых видах энергии. Эта комбинация факторов и поощрила быстрое расширение рынка для ветровой энергетики в Калифорнии, где она тесно следует за бытовыми потребностями в пиковые периоды энергопотребления, приходящиеся на летние месяцы.

Подгоняемая бурно развивающейся промышленностью и частными вкладчиками капитала, общая установленная численность ветровых энергоустановок в Калифорнии подскочила от практически нулевой отметки до 16 тыс. турбин общей мощностью 1400 МВт. Бытовой потребитель не оплачивал капитальных вложений, сделанных в установку новых мощностей, а только кредит, пошедший на их создание и энергию, поставленную ему согласно стандартным контрактам, которые власти штата помогали заключать. За 1989 г. подобные турбины вырабатали 5693 ГВт-ч электроэнергии, что позволило Калифорнии сэкономить эквивалент 10041000 баррелей нефти. В условиях штата, в котором проживает 11% населения США, а экономика занимает примерно шестое место в мире, ветровая энергетика поставляет 1% всей электроэнергии. Это было достигнуто менее чем за одно десятилетие. И с 1985 г. ни федеральные, ни устанавливаемые властями штата поощрительные налоговые скидки (кредиты на часть капиталовложений) для таких установок уже не практикуются [14].

Калифорния не одинока. На Гавайях и в Дании ветровая энергетика также поставляет 1% электричества, а в некоторых других странах осуществляются вложения в дело создания специальных ветроэнергетических компаний и закупки таких электростанций. В предстоящие годы ветроэнергетика широко проникнет и в остальные штаты США, главным образом в области прерий (штаты Иллинойс, Висконсин, Айова и Миннесота. — *Прим. перев.*), где ветровые ресурсы намного превосходят калифорнийские.

Быстрая коммерциализация ветровой энергетики в США и в Дании подтвердила ключевые качества систем, основанных на возобновляемых источниках. Во-первых, они дают существенную экономию. Рост компетентности производителей и увеличение размеров систем [15] снизили стоимость создания производства с 3500 долл. на 1 кВт до примерно 1000-1200 долл. для установленных пиковых мощностей сельских ветровых турбин, сооружаемых ныне. За 80-ые годы выработка на единицу установленной мощности резко выросла с 200 кВт-ч на киловатт до 1300 кВт-ч [16]. Уже видимые на горизонте технические усовершенствования смогут еще более улучшить эти показатели.

Справедливое сравнение ветровой энергетики с другими ее видами должно также принимать в расчет и коэффициент использования. Для систем, основанных на возобновляемых источниках, характерно, что они работают с перерывами. Потребитель должен знать, на какую выработку в год он может рассчитывать с учетом коэффициента использования. Что касается ветровых турбин, то они должны быть готовыми к работе более чем в 95 процентах времени, когда ветер достигает силы, способной производить энергию. Подобный уровень надежности ныне уже является обычным. Эксплуатационные качества многих ветровых установок в Калифорнии при измерениях показали, что общий коэффициент использования для всей этой системы в штате поднимается до 16%. Данная величина включает в себя коэффициент и ранее установленных генераторов, надежность и выработка которых ниже, чем у новых. Коэффициент использования новейших систем составляет 20%, а у лучших из них достигает даже 30% [17].

Эти цифры означают, что ветровые турбины могут в условиях конкуренции поставлять электричество по цене в пределах от 8 до 9 центов за киловатт-час и что ветровые электростанции имеют явное преимущество перед наиболее дорогими поставщиками бытовой электроэнергии в Соединенных Штатах, каковыми неизменно являются АЭС. Анализ показал, что по меньшей мере четверть всех ветровых электростанций, существующих в Калифорнии, могут конкурировать с новыми атомными мощностями в Соединенных Штатах [18].

За десять лет работы большого количества ветровых турбин в США, Дании и некоторых других странах были накоплены исчерпывающие сведения относительно их возможностей и надежности. В Калифорнии пришли к заключению, согласно которому во многих пунктах ветровые установки вполне удовлетворяют требованиям, предъявляемым к энергетическим системам, и представляют собою надежный источник энергии для бытовых и прочих нужд [19]. Администрация некоторых бытовых электросетей в США и за границей пришла к выводу о том, что они в состоянии довести использование ветровых источников до 5 и даже 20% общей мощности, причем даже без серьезных адаптационных мер, связанных с прерывистым характером работы этих установок. Приемлемые системы энергонакопления (например, батареи и топливные элементы) могут поднять эти цифры еще выше.

В экологическом смысле полезность использования энергии ветра в Калифорнии уже очевидна. В 1988 г. была сделана оценка, согласно которой 1,8 млрд кВт·ч ветровой энергии, поставленной в сети штата, уменьшили на 62 тыс. тонн количество загрязняющих веществ и на 2,2 млн тонн — двуокиси углерода, поступивших в атмосферу. Промышленные аналитики прогнозируют: если осуществится сценарий, согласно которому рост этого вида энергетики будет идти быстро, то за следующее десятилетие ветровые источники позволят избавлять воздушное пространство над Соединенными Штатами примерно от 50 млн тонн двуокиси углерода в год [20].

Опыт ветровой энергетики в США и Дании привел к тому, что многие развивающиеся страны уже начали планировать включение получаемого таким образом электричества в общие создаваемые мощности. Индия и Египет заключили контракты с поставщиками в Европе и в США на строительство «ветровых ферм». Соответствующие лицензионные соглашения в этих и некоторых других развивающихся странах либо уже подписаны, либо находятся на рассмотрении. В некоторых развитых странах подобная технология уже доведена до промышленного уровня мирового рынка и создает новые возможности для экспорта и весьма выгодной передачи технологии.

6.4. Внедрение в область энергетики технологий, связанных с возобновляемыми источниками

Ветровая энергия — лишь одна из технологий возобновляемых источников, серьезно вторгшихся в энергетику. Защищающая интересы потребителей в США группа «Public Citizen» исследовала процесс развития методов применения возобновляемой энергии в США за последнее десятилетие и ход ее распространения на рынке электричества. В 1980 г., если не считать гидроэнергетику, общая мощность электростанций, работающих на возобновляемых источниках, составляла 1109 МВт. К 1989 г., как оказалось, она возросла до 9543 МВт. Кроме того, за те же девять лет к общим гидроэнергетическим мощностям добавилось 11700 МВт [21].

В конце 1988 г. в Соединенных Штатах общая мощность действующих электростанций, пользующихся возобновляемыми источниками энергии (в том числе всех гидроэнергетических установок), составляла 97443 МВт. Это несколько превышает те 97220 МВт, которые в 1988г. составляли суммарную мощность атомных станций [22].

В США принято первичное потребление энергии измерять в кВадах — то есть в квадрильонах британских тепловых единиц. Основываясь на показателях роста, достигнутых в 80-х годах, и на перспективах, рисуемых представителями промышленности и властями, специалисты из «Public Citizen» высказали предположение, что к 2000 г.

возобновляемые источники в США смогут поставлять до 14 квад энергии (1 квад равен 1055 эксаджоулей, или 10^{15} британских тепловых единиц), что означает удвоение нынешнего их вклада. В зависимости от роста энергетических потребностей в США и темпов повышения эффективности производства, эти 14 квад смогут составлять от 15 до 19% потребляемой в 2000 г. в США энергии. Для крупнейшей в мире экономики, которая ныне ежегодно потребляет 83 квад британских тепловых единиц энергии, это означает весьма внушительное число установок и говорит о быстром созревании данной области промышленности.

Утверждение относительно 14 квад основано на предположении о сохранении нынешней стратегии в области энергетики, имеющих сейчас низких ценах на ископаемые виды горючего и на тенденции властей урезать ассигнования, предназначенные для исследований в области возобновляемых видов энергии, как это имело место в бюджете 80-х годов. Для того чтобы установить, насколько большой вклад возобновляемая энергия могла бы внести в общую энергетику США при более благоприятных условиях, представители промышленных кругов сопоставили варианты роста рынка согласно «рутинному» и «ускоренному» сценариям. На заседаниях Форума по возобновляемой энергии и климатическим изменениям, состоявшегося в Вашингтоне 14-15 июня 1989 г., специалисты-промышленники доложили, что в случае, если будут приняты определенные поощрительные меры, рост может оказаться впятеро большим, чем согласно «рутинному» сценарию.

Оценки перспектив ветровой энергетики показали, что «рыночное ускорение» может увеличить ее вклад в следующем десятилетии в 3-5 раз и что тогда выброс двуокиси углерода в атмосферу в течение года будет не на 10 млн, а на 50 млн тонн меньше. Что же касается биомассы, то в промышленных кругах считают: к 2000 г. основанная на ее использовании энергетика сможет давать 14,6 квад энергии, а не 4,14, как предусматривается «рутинным» сценарием. (За исходный пункт относительно «биомассовой» энергетики был взят 1989 г., когда ее доля составляла, согласно некоторым оценкам, от 2,95 до 3,8 квад энергии). Таким образом, «биомассовая» энергетика может в случае принятия мер «рыночного ускорения» втрое — вчетверо быстрее увеличивать свой вклад, чем предусматривает это «рутинный» вариант развития.

Для того чтобы обеспечить ускоренное развитие рынка возобновляемых источников энергии, промышленные круги предлагают ряд мер. В отношении ветровой энергетики они могут быть следующими:

— Увеличение федеральных средств, выделяемых на исследования и развитие в этой области, с разработкой обязательной многолетней программы и ассигнованием от 20 до 50 млн долл. в течение пяти лет, под этим подразумевается, главным образом, создание нового класса турбин, обеспечивающих эффективность капиталовложений, а также улучшение технических знаний;

— Строительство электролиний, обеспечивающих передачу («перекачку») производимого ветром «бытового» электричества в центры с высокой плотностью населения;

— Финансовое поощрение частного сектора, которое может включать в себя вознаграждение в сумме от 0,02 до 0,04 долл. за каждый киловатт-час, произведенный за счет возобновляемых источников энергии, не загрязняющих природную среду.

В отношении «биомассовой» энергетики рекомендуется:

— Создавать процентные ставки для того, чтобы сбивать цены и финансировать соответствующие установки;

— Предоставлять техническое содействие тем предприятиям, которые определяются в качестве кандидатов на переход к биотопливу;

— Выработать налоговые или таможенные поощрительные меры, пропорциональные тому, насколько при этом соблюдаются условия, оптимальные для сохранения природной среды;

— Продолжить и развивать практику освобождения от налогов производства этаноловых топлив;

— Восстановить 10-процентные кредитные льготы для установок, использующих биомассу;

— Распространить налоговые кредитные льготы на производство газа из нетрадиционных источников;

— Потребовать, чтобы принадлежащие федеральным властям установки и транспортные средства в какой-то степени использовали биологические топлива;

— Отдать распоряжение, согласно которому в масштабе всей страны устанавливаются целевые задания на использование биологического топлива (например, 50% всего бензина должно содержать 10% этанола).

Эти стратегические предложения, в основном, относятся к поощрению и поддержке коммерциализации возобновляемых источников энергии. Они свидетельствуют о том факте, что несмотря на увеличение конкурентоспособности этих источников в будущем, благодаря неустанному развитию исследований, существуют многочисленные возможности и на нынешнем рынке, с принятыми ныне технологиями, расширить использование возобновляемых видов энергии. Более того, по мере введения в действие экологических мер, приводящих к росту стоимости энергии, получаемой от традиционных источников, которые вызывают наибольшее загрязнение природной среды, конкурентоспособность возобновляемых источников резко возрастет.

Особенно многообещающим будущее выглядит для многих технологий, основанных на возобновляемой энергии, в связи с тем, что для преодоления ими экономических организационных барьеров, препятствующих ныне их распространению, достаточно лишь умеренное повышение цен на ископаемое топливо. Одна из новых технологий состоит в использовании легких параболических приемников для тепловых промышленных систем или для строительных целей. В благоприятных климатических условиях подобные концентраторы энергии

могут поставлять ее по цене от 6 до 9 долл. за 1 гигаджоуль. Время «жизни» такой системы составляет пятнадцать лет. При том что природный газ дает 1 ГДж примерно за 4 долл., а коэффициент полезного действия газового бойлера обычно колеблется в пределах между 55 и 80%, солнечные тепловые системы без накопления энергии уже очень близки к конкурентоспособности там, где имеются хорошие ресурсы солнечной энергии.

Другая разновидность технологии, готовая к быстрому распространению на рынке, это солнечно-тепловые электроэнергетические системы, в которых также используются параболические приемники. Калифорнийско-израильская компания «Luz International Ltd» является одновременно разработчиком и строителем подобных систем. Начиная с 1984 г. эта компания установила в южной части Калифорнии гибридные солнечно-газовые электростанции общей мощностью 275 МВт. Благодаря введенным усовершенствованиям и широкому масштабу операций ей удалось снизить цену поставляемой солнечными электростанциями энергии с 25 до 8 центов за киловатт-час при тридцатилетнем сроке «жизни» установки [23]. Это — «выровненная» стоимость, то есть она дает покупателю почти фиксированную цену на протяжении более тридцати лет. По мнению компании «Luz», та часть электроэнергии, которая будет вырабатываться путем сжигания ископаемого топлива (ее доля составит до 25% годовой выработки), окажется в действительности самой дорогостоящей, так как за тридцать лет стоимость газа наверняка возрастет. При использовании же в течение длительного времени солнечных и иных возобновляемых источников при почти фиксированных ценах на поставляемую энергию можно не учитывать фактор подорожания горючего.

Системы, поставляемые компанией «Luz», каждая мощностью по 80 МВт, постепенно приобретают конкурентоспособность в США; они подойдут и для использования в условиях Австралии и Северной Африки — в местностях, где уровень инсоляции (солнечного излучения, достигающего земной поверхности) достаточно высок, а существующая сеть испытывает пиковые нагрузки в летние месяцы. Подобные системы найдут себе рынок в развивающихся странах, где энергия, получаемая от дизельных установок для бытовых нужд, обходится дорого. «Luz» и другие компании продолжают повышать КПД своих систем, применяя все менее дорогие материалы. Критики, подчеркивающие различные недостатки подобных установок и указывающие на их неспособность завоевать рынок, слишком часто забывают о продолжающихся технологических усовершенствованиях.

Еще одним фактором, повышающим конкурентоспособность солнечно-тепловых электростанций, служит их способность тесно следовать за кривыми, описывающими суточный ход потребностей в энергии. Имея солнечную электростанцию, можно разрабатывать более эффективную стратегию распределения энергии, так как выработка ее возрастает в полдень, когда и спрос достигает максимума, так что возможна цикличность суточных включений и выключений. Подобные

станции также могут наращивать мощность сети «малыми дозами». Наконец, при использовании хотя бы скромных средств накопления энергии солнечно-тепловые установки могут увеличивать эффективность еще на 30%.

Суммируя все сказанное, можно утверждать, что солнечные, геотермальные, «биомассовые» и ветровые системы становятся все более приемлемыми в ряду прочих средств производства электроэнергии. Цены конкурирующих с ними систем, работающих на ископаемом топливе, в течение ближайших лет должны повыситься хотя бы не на много, чтобы новые системы обрели еще большую привлекательность. Для успешного распространения новейших технологий на энергетическом рынке уже не требуется их дальнейшего усовершенствования, их эффективность и цены уже достаточно привлекательны для промышленных, коммерческих и строительных секторов экономики.

6.5. Солнечная энергия для строительства и промышленности

Помимо того что возобновляемые источники с их технологиями способны производить электричество, существует также возможность использования солнечных коллекторов для поставки тепловой энергии в промышленных и строительных целях, которая ожидает лишь незначительного подорожания ископаемых горючих, чтобы успешно конкурировать на рынке. Потенциал подобных устройств, именуемых системами распределенной возобновляемой энергии, так как их выработка не поступает в централизованную сеть для дальнейшей передачи и распределения, зачастую остается вне рассмотрения. Вот почему, вероятно, Подгруппа по энергетике и промышленности IPCC считает, что новинки в области использования солнечной энергии не внесут существенных изменений в структуру энергетического рынка до 2025 г.

Солнечные подогревающие устройства и другие солнечные отопительные технологии не принимаются в расчет, так как экономия энергии и снижение загрязнения природной среды, которые они несут с собой, считаются слишком малыми. Некоторым представляется, что те, кто разрабатывает политику в области энергетики или экологии, слишком рано обратились к энергетическому сектору в поисках средств для сокращения потребления электричества. Это близорукий взгляд на вещи, так как совмещение активных солнечных систем с пассивными может уменьшить количество потребляемой в зданиях энергии на 30-80%, причем эта экономия будет увеличиваться из года в год [24].

Конструкции зданий с пассивным солнечным энергоснабжением, использующим солнечный свет и естественную вентиляцию, имеют большие потенциальные возможности в странах с умеренным климатом. Так, в 1985 г. в Соединенных Штатах энергоснабжение зданий

поглоштило 37% первичного энергоснабжения страны. На отопление, охлаждение, вентиляцию и освещение ушло 54,4% всей энергии, потребленной жилым фондом, и 84,2% — промышленными помещениями. С учетом распределения различных видов топлива, используемых в стране на нужды энергоснабжения жилых зданий, а также географического распределения жилого фонда, консервативная оценка позволяет считать, что перевод 6,7 млн таких зданий на солнечные источники позволяет снизить ежегодный выброс в атмосферу:

- | | |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| — двуокиси углерода | — на 67,5 млн коротких тонн;
(1 короткая тонна = 907,2 кг — прим. перев.); |
| — двуокиси серы | — на 284000 тонн; |
| — окисей азота | — на 165000 тонн; |
| — твердых частиц | — на 10000 тонн [25]. |

Подобное уменьшение загрязнения в случае перевода на новые источники энергоснабжения всего лишь семи процентов всего жилого фонда представляет собою весьма привлекательную цель.

Еще одну возможность дает перевод на солнечные и солнечно-тепловые источники промышленных зданий в развивающихся странах. В столице Ямайки — Кингстоне здание, где размещено управление Национальной нефтяной компании, «питается» солнечной энергией. Оно тратит 377 МДж энергии на квадратный метр площади помещений в год. А следующее за ним по эффективности тамошнее здание расходует 908 МДж на квадратный метр. Для большинства остальных подобных зданий в городе эта величина достигает 1136 МДж [26]. Так как, согласно оценке ИПСС, доля выброса в атмосферу двуокиси углерода, принадлежащая развивающимся странам, в сумме возрастет к 2025 г. с 25 до 50%, энергетические солнечные технологии должны найти свое место в планируемых инфраструктурах развивающихся стран. Постройка здания, эффективно снабжаемого электричеством за счет энергии Солнца, может обойтись на 15% дороже, чем обычного, но эти дополнительные расходы возместятся экономией энергии за какие-нибудь один-два года.

6.6. Оценка потенциальных возможностей солнечнотепловых технологий

Краткий обзор технологий, использующих энергию Солнца для подогрева воды, может проиллюстрировать историю и нынешнюю ситуацию распространения солнечных технологий и их потенциальные возможности. В конце 1800-х годов в США солнечные подогреватели воды широко распространялись коммерческим путем, так как они предоставляли условия снабжения горячей водой в зданиях без разжигания огня в печах, топках или кострах. Несмотря на появление дешевого ископаемого топлива и изобретение домашних водонагревательных

устройств, солнечные подогреватели все еще сохраняли свои коммерческие качества в течение 40-х годов нашего века. После энергетического кризиса 1970-х годов солнечно-тепловые системы, предназначенные для зданий, были переконструированы, и их начали выпускать, используя более дешевые материалы; возник целый ряд новых технологий и областей их применения.

С тех пор как в середине 70-х годов интерес к подобной технике возродился, осуществленные правительственными и частнопромышленными организациями исследования улучшили тепловую выработку солнечных коллекторов энергии примерно на 30–35%. В то же время стоимость производства таких коллекторов снизилась несколько более, чем уровень инфляции. В 1978 г. оптовая цена за коллектор хорошего качества составляла от 120 до 130 долл. за кв. метр. Изготовленный сегодня солнечный коллектор такой же конструкции остается в той же цене — примерно 120 долл. за кв.м, но уже в долларах 1989, а не 1987 г. В середине 80-х годов промышленность, выпускавшая почти 12 миллионов кв. футов среднетемпературных плоских коллекторов в год, накопила уже немалый опыт в данной области [27]. Те немногие производители, которые существуют ныне, сохранили технические знания и опыт, хотя количественный уровень массовой продукции и снизился, а реальная цена солнечного коллектора за последнее десятилетие упала примерно наполовину.

Все достижения, плюс насыщенный рынок, созданный низкими ценами ископаемого топлива и увеличением эффективности обычных систем, заставили солнечно-энергетическую промышленность США сократить установленную стоимость солнечной водонагревательной системы до 2–2,5 тыс.долл., что составляет около половины ее цены в начале 80-х годов.

Какой вклад в сокращение выброса в атмосферу парниковых газов может внести скромный солнечный водоподогреватель? В промышленноразвитой стране для семьи он может стать самым большим источником экономии энергии, если не считать отказа от ежедневного пользования автомашиной (или — автомашинами). Если солнечное водонагревательное устройство сэкономит своему американскому владельцу в среднем 2300 кВт·ч энергии в год, это будет означать, что в атмосферу за каждый год использования этого устройства поступило на 1770 кг меньше двуокиси углерода.

Но солнечные водонагреватели избавляют нас от выброса не только двуокиси углерода. Управление защиты окружающей среды США выполнило оценку потенциальных возможностей уменьшения загрязнения среды в том случае, если подобные устройства распространятся по всем Соединенным Штатам. Основываясь на данных о величинах выбросов парниковых газов и других загрязняющих веществ в воздушное пространство, происходящих в результате сгорания различных видов топлива на электростанциях страны, это Управление за-

ключило, что пять миллионов солнечных водонагревателей в течение одного года снизили бы выброс:

- двуокиси углерода — на 9,72 миллионов тонн;
- двуокиси серы — на 41000 тонн;
- окиси азота — на 356000 тонн;
- твердых частиц — на 2403 тонны [28].

Для реализации подобных возможностей рынок распространения солнечных водонагревателей и иных технологий, основанных на использовании энергии Солнца, должен расширяться. Насколько они в состоянии это сделать? Ранее некоторые аналитики предлагали оценки, согласно которым максимальный предел, до которого может повыситься применение солнечных подогревателей в США, может составить 10%. Так как к настоящему времени их установлено более 1 миллиона на 90 миллионов жилых единиц в стране, удельный вес подобных систем уже достиг примерно 1% [29].

Принимая во внимание нынешнее состояние технологии и рост жилого фонда, плюс потенциальные возможности переоборудования уже существующих домов новыми солнечными водонагревателями, 10-процентный предел роста может оказаться заниженным. Сорок четыре процента новых односемейных домов, построенных в США в 1986 г., отапливаются электричеством [30]. Именно оно является наиболее дорогостоящим источником энергии для зданий, так что это представляет самые благоприятные возможности для расширения сбыта солнечных водонагревателей. Более того, ежегодно население США приобретает свыше 3 миллионов единиц жилья. Если будут приняты правила, согласно которым в целях сокращения загрязнения атмосферы станет обязательным наличие солнечных обогревательных систем у всех продаваемых или перепродаваемых домов, то рынок сможет поглощать более 4 миллионов единиц такого оборудования в год.

В экономическом отношении вложения средств в солнечные водоподогревающие системы также станут более привлекательными. В условиях нынешнего уровня технологии обычная приносимая ими экономия составляет в среднем 2300 кВт-ч энергии в год. При цене 8 центов за киловатт-час, по которой энергия поставляется для бытовых нужд, и стоимости установки для солнечного подогрева воды, составляющей 2000 долл., владелец может в первый же год рассчитывать на экономию, составляющую около 9,2%. Такая экономия может еще более возрасти по мере увеличения стоимости электроэнергии. Некоторые строительные компании убедились, что им легче сбывать дома, оборудованные солнечными энергоустановками, так как владелец знает, что ему придется меньше платить за электричество, а возврат занятых на строительство денег может легче укладываться в его месячный бюджет. Кроме того, установка солнечно-энергетической системы на уже существующем здании — дело несложное. Таким образом, можно утверждать, что общий потенциал рынка в ближайшие двадцать лет должен превысить 20 миллионов единиц.

(С 1990 по 2010 год в США численность новых односемейных домов, вероятно, возрастет на 14 миллионов [31]).

Опыт некоторых других стран говорит о том, что вполне вероятно завоевание этими технологиями гораздо больше одного-десяти процентов рынка. Так, на Барбадосе рынок домашних отопительных водонагревателей, по-видимому, достиг насыщения на уровне примерно 30–35%. В общем, эти системы конкурируют с природным газом, поставляемым по цене около 5 долл. за гигаджоуль, однако настоящая цена его, с учетом низкой эффективности большинства газовых установок, на самом деле вдвое больше. На Барбадосе сочетаются наличие доброкачественной продукции местного производства и правительственная поддержка потребителя, что и привело к установке более 20 тыс. водоподогревающих устройств на острове, где насчитывается всего примерно 65 тыс. единиц жилья [32]. В этой стране со средним уровнем доходов потребителю стало ясно, что затраты на солнечный водонагреватель представляют собой вложение, отлично позволяющее экономить энергию.

Обследование установленных в коммерческом порядке солнечных водонагревателей подтвердило, что они чаще всего дают от 50 до 70% обычной энергии, потребляемой на повышение температуры воды [33]. Если возникает потребность в большем количестве энергии, то к системе можно подключить один или несколько добавочных коллекторов. Более того, Флоридский центр солнечной энергетики установил случаи, когда потребитель в теплых климатических условиях отключает вообще свой водоподогрев от любых систем, поставляющих электроэнергию из сети, работающей на ископаемом топливе, слегка изменяет свой образ жизни и начинает полностью полагаться на солнечные источники. Подобная система амортизируется за время, достаточное для того, чтобы владелец ощутил существенную прибыль, легко оправдывающую первоначальные затраты. По-видимому, способность к погашению стоимости солнечных подогревателей воды в районах, где стоимость электричества высока, и стимулировала в Тунисе создание специальной программы: здесь для приобретения солнечной установки можно получить низкопроцентную ссуду на срок до семи лет. Заемщик экономит за один месяц больше, чем та сумма, в которую ему обходится долг, а затем, когда заем возвращен, он оставляет себе все 100% прежних расходов на электричество [34].

Помимо прочего, Межправительственная группа экспертов по проблемам изменения климата пришла к выводу, согласно которому в развивающихся странах горячая вода должна поставляться более чем в 90% жилищ. Подгруппа IPCC по энергетике и промышленности считает, что, например, в Бразилии и Мексике к 2025 г. 100% жилого фонда должно иметь горячую воду. В любой стране потребитель заинтересован в этом. С небольшими поощрительными условиями ему должна предоставляться возможность заменить ископаемые источники энергии на солнечные, дающие явные экономические выгоды. Такие программы помогут возобновляемым видам энергии быстрее расширить область

своего применения в развивающихся странах и сократить их зависимость от ископаемых горючих веществ, в то же время удовлетворяя основные экономические потребности.

Так как подогрев воды в такой промышленной стране, как Соединенные Штаты, требует до 16% всей энергии, потребляемой в жилищах, или 6% общего количества энергии, то не следует игнорировать ее экономии и здесь. Так, если солнечный водоподогрев займет 20% рынка энергии в США, то потребление энергии может снизиться приблизительно на 500 триллионов британских тепловых единиц в год, что эквивалентно 85 миллионам баррелей сырой нефти в год, или 235000 ее баррелей в сутки в течение года. Любое мероприятие, которое приведет к замене значительного количества подогревателей воды на их солнечную разновидность в период более двух следующих десятилетий, могло бы сократить потребление ископаемых горючих в энергетических целях на один процент или даже более. Этот 1% вполне достойная цель, так как он существенно снижает масштабы стоящих перед нами проблем и в соединении с иными мерами поможет поставить под контроль выбросы в атмосферу газов, вызывающих парниковый эффект.

Опыт ряда стран показывает, что солнечные водонагреватели могут захватить 50% или даже более существующего ныне рынка. По мере продолжающегося роста цен на ископаемое горючее и технического и экономического усовершенствования солнечных энергетических систем темпы завоевания рынка последними будут ускоряться во все большем числе стран. Таким образом, хотя сегодня вклад солнечной энергетики и представляется несущественным, в дальнейшем она может полностью заменить работающие на ископаемом топливе водоподогревающие системы.

6.7. Определение конкурентоспособности

Существуют ли такие области, где замена энергетики, работающей на ископаемом топливе, энергетикой, основанной на возобновимых ресурсах, была бы финансово неоправданной? Имея в виду рациональное распределение ресурсов для удовлетворения потребностей в товарах и услугах, на этот вопрос следует ответить — да; во многих случаях системы, питаемые возобновляемой энергией, все еще оказываются более дорогостоящими, чем те, что работают на сжигаемом топливе. Однако нередко конкурентоспособность различных энергетик, представляющая собой весьма сложный объект, измеряется ошибочной мерой. Один из неправильных подходов, применяемых слишком часто, состоит в том, что лицо, принимающее решение, просто сопоставляет размеры экономии электроэнергии с капитальными затратами и вычисляет, за сколько месяцев он вернет эти деньги. Другой подход, основанный на усреднении стоимости энергии, служит несколько лучшим

индикатором достоинств той или иной энергетической системы. Однако одним из наиболее приемлемых для принятия решений является анализ чистой (нетто) нынешней стоимости.

При этом способе все расходы, связанные с использованием энергетической системы, переоцениваются на сегодняшний день. Подобный анализ принимает во внимание предстоящий рост цен на горючее, а текущие экспериментальные расходы, ремонт и обслуживание также подвергаются переоценке. Это предпочтительно для выбора энергетических установок, так как позволяет оценивать сравнительные достоинства конкурирующих между собой систем. Выбор способа экономии энергии или наиболее подходящей для приобретения системы, работающей на возобновляемых источниках энергии, нередко превалирует над решениями о других затратах, если анализ осуществляется с учетом различных существующих скидок и реалистичной оценки инфляционной цены на топливо.

При данной методике системы возобновляемых энергий обещают прибыль куда чаще, чем многие полагают. Так, несомненно, обстоит дело с применением фотоэлектрических систем для мелких потребителей, находящихся в удаленных местностях. В области связи, катодной охраны оторванных от центра сооружений фотоэлектрическая сеть с батареей более надежна, требует для обслуживания меньших усилий, чем небольшой генератор или система, работающая на одних батареях. Несмотря на кажущуюся высокую цену поставленного киловатт-часа энергии, если учесть стоимость транспортировки топлива, обслуживания и рабочей силы за все время эксплуатации системы, средняя нынешняя стоимость «солнечной» электроэнергии существенно одерживает верх и правильный выбор соответствующей технологии представит собой достойное использование имеющихся ресурсов. Для переподготовки персонала в целях обучения его подобной методике в широком масштабе потребуется немало усилий. К сожалению, большинство из тех, кто ныне принимает решения в области энергетики, оказываются часто не в состоянии реально и точно учесть дальнейший уровень инфляции (то есть будущую стоимость сегодняшних денег). И, на самом деле, исследования этого вопроса показали, что потребители выбирают оборудование, практически не задумываясь о том, сколько в будущем им придется платить за энергию, идущую на его эксплуатацию. Правильная оценка дальнейшей стоимости средств служит важным ключом в определении следующих шагов потребителя, который иначе может отвернуться от больших капиталовложений в энергетическую систему, а они в дальнейшем окажутся куда более надежным вложением средств, чем непредсказуемые траты на ископаемое топливо, к которым он привяжет себя на многие грядущие годы.

Еще один фактор, который в последнее время начинает влиять на процесс сопоставления различных видов энергетики, это учет их общественной, социальной стоимости, связанной с поставкой обычной или возобновляемой энергии. Этот подход только еще начинает завое-

вывать себе место в ряде стран. Обнаруживается, что при учете различных субсидий, факторов здравоохранения, экологии, безопасности энергетических систем и иных разнообразных обстоятельств, влияющих на устанавливаемую цену, энергия, получаемая от ископаемого топлива, оказывается более дорогой, а результаты экономического анализа начинают смещаться в сторону тех энергетических технологий, в которых «внутренние» цены ниже.

До тех пор, пока рассмотрение всех этих «внутренних» факторов при оценке энергетики не станет обычным делом, реально существующие компании, правительства, частные лица будут продолжать ежедневно принимать решения, отвергающие вклад в экономию энергии. Они просто «заиклились» на простейших данных о платежах за последние один-два года, причем компании, связанные с солнечной энергетикой и экономией электроэнергии, повседневно упираются в это обескураживающее препятствие. Им необходимо еще убедить тех, кто принимает решения, чтобы они применяли более рациональный метод определения правильного размещения капитала. Если у них не появится ощущение срочной необходимости этого, то пройдут еще годы, прежде чем подобные взгляды станут общепринятыми и «внутренние» факторы будут полностью включены в методику принятия решений по энергетическим проблемам.

Связанный с этим и также относящийся к проблеме капиталовложений вопрос состоит в выборе между затратами на экономию энергии и теми, которые вызваны необходимостью перехода к ее возобновляемым источникам. Тут есть два ключевых момента. Во-первых, многие аналитики утверждают, что затраты на экономию энергии должны быть сделаны раньше, чем любые затраты на использование возобновляемых источников. Даже сами промышленные круги, связанные с возобновляемой энергией, защищают подобное мнение, указывая, однако, на то, что в будущем вложение средств в системы возобновляемых источников станет более привлекательным, чем перспективы, предлагаемые общей экономией. Ответственные за решение лица поймут, что при анализе всех факторов кривые, показывающие отдачу средств, вложенных в экономию и в возобновляемые источники, перекрещиваются, когда прибыль от эффективности использования энергии и предельная цена сбережения каждой следующей единицы энергии повысятся. Во-вторых, в отличие от энергосбережения системы с возобновляемой энергией, дают нам реальную энергию. Хотя для поставщика выработка системы, основанной на возобновляемой энергии, выглядит как сокращение потребностей, для потребителя это — рост поставленного количества энергии.

Те системы возобновляемой энергии, которые производят жидкое топливо для нужд транспорта или электричество для бытовых нужд, очевидно, служат также и расширению возможностей энергоснабжения. В подобных случаях в промышленных кругах, связанных с возобновляемыми источниками энергии, указывают, что не загрязняющие среду системы возобновляемой энергии следует рассматривать как фак-

тор, увеличивающий степень энергообеспеченности. Соответственно, когда речь идет о мерах по повышению эффективности использования энергии, промышленники предлагают, чтобы они включали в себя технологии, поставляющие возобновляемую энергию. В ближайшем будущем и, несомненно, в более отдаленной перспективе описание характеристик энергоснабжения, действующего на возобновляемых источниках, станет особенно важным в мире, где необходимо производить добавочное количество энергии, чтобы обеспечить экономическое развитие.

В ожидании, пока станет приемлемой методика более рациональных решений в энергетической области и сопротивление, оказываемое ей в различных учреждениях, будет преодолено, независимые производители электричества и акционерные компании, связанные с энергосбережением, разработали новые подходы к сбыту энергии. Один из наиболее удачных среди них — это трехсторонний контракт, применяемый в «энергетических» сделках. При этом те, кто составляет проект, привлекают третьего участника — владельца капитала — в новую энергетическую систему и разделяют с потребителем энергии (бытовой или промышленной) все сэкономленные средства. Получатель энергии, который не несет никаких капитальных расходов на системы, экономящие ее, практически ничем не рискует. Подобные системы с участием третьей стороны могут также удовлетворять такие организации, как фирмы, строящие жилье, которым бывает невыгодно нанимать персонал, не знакомый с новыми устройствами и механизмами, а также фирмы, опасющиеся недостаточной надежности новых технологий. Недостаток же состоит в том, что подобные контракты вызывают ряд накладных расходов, которые приводят к росту цен на технологии, призванные экономить возобновляемую энергию. Однако данное положение улучшится, когда потребитель энергии почувствует, что к нему возвращаются средства, вложенные в рост эффективности выработки энергии при помощи систем, основанных на использовании возобновляемых источников.

Необходимо сказать, что все разговоры о том, что вкладывание денег в чистые и возобновляемые энерготехнологии якобы приведет к разорению экономики, не имеют никакого смысла. Более того, в тех случаях, когда необходимы новые энергоисточники, старые системы остаются в действии, соображения, связанные с экономией на побочных расходах, будут все чаще приводить к решениям в пользу возобновляемой энергии.

Потребность в «новаторских» методах маркетинга показывает, как ведомственные барьеры, не связанные с экономическими факторами, препятствуют ускоренному распространению «возобновляемой» энергетики. Знакомство с положительными экономическими и экологическими характеристиками этих систем помогает разрушать подобные препятствия. Этот ознакомительный процесс, требующий времени на передачу технологий и опыта, можно ускорить, если гражданские власти станут активно поощрять и продвигать вперед меры, направленные

на переход к использованию возобновляемых источников энергии. Гражданским властям также следует пересмотреть свои собственные решения в области энергетики с учетом местных общественных и экологических факторов, связанных со столь длительной ориентацией на ископаемые источники энергии; поощрять частный сектор к разработке новых передовых проектов, которые призваны повысить эффективность и государственных энергетических систем тоже.

Здесь возникает важное соображение. На сегодняшний день компании, связанные с производством возобновляемой энергии на многих ее рынках и ведущие переговоры о контрактах на поставку электричества или тепла, нередко вынуждены сбивать цены, выдвигаемые традиционными производителями, чтобы их могли считать альтернативными поставщиками. Чтобы прорваться на подобные рынки, продавец возобновляемой энергии обычно предлагает 10–20-процентные скидки на системы солнечного отопления по сравнению с конкурирующими системами, использующими горючее топливо. Как уже сказано выше, для молодых компаний с их новыми технологиями высокие накладные расходы делают трудной конкуренцию с уже укоренившимися обычными поставщиками.

Если же им предоставить соответствующие возможности, то компании, производящие возобновляемые виды энергии, смогут подписывать долгосрочные контракты на поставку электричества государственным организациям по более низким ценам, чем позволяют нефть или природный газ, которые тесно связаны с дальнейшими изменениями стоимости подобного топлива. Если правительство несет ответственность за то, чтобы поощрять использование более чистых источников энергии, и может делать это, одновременно снижая ее стоимость, оно обязано облегчить заключение подобных контрактов. На самом же деле все обстоит иначе. Чтобы заключить простое трехстороннее соглашение с государственным учреждением, может потребоваться два года. Если правительство намерено ставить свои препятствия к использованию более чистых и дешевых источников энергии, тогда, может быть, ему следует «наградить» поставщиков такой энергии, установив более высокие цены на нее по сравнению с энергией ископаемого топлива. Позже, когда рынок созреет и подбор соответствующей случаю энергетической системы, связанной с возобновляемыми видами энергии, станет не сложнее, чем закупка стройматериалов, правительство сможет подписывать договоры на поставку более дешевого электричества.

6.8. Стопроцентная замена ископаемого топлива возобновляемыми источниками

Помимо непосредственной закупки или вступления в трехстороннее соглашение о приобретении энергии с разработчиками и поставщиками ее возобновляемых видов у правительства имеются и дру-

гие пути поощрять быстрое развитие такой энергетики. Так как существуют многочисленные системы выработки электричества и тепла из возобновляемых источников, которые могли бы заменить собою ископаемые, то одним из вариантов политики является поиск сфер потребления, где от ископаемого топлива можно полностью отказаться в пользу энергетической системы с экономически предпочтительными условиями. Уже сейчас в некоторых областях применения вполне доступна 100-процентная замена систем, основанных на ископаемом топливе, а во многих странах это даже осуществимо и в границах вполне экономически оправданного эксперимента.

В ряде стран небольшие дизельные генераторы используются там, где необходимо постоянное и «портативное» энергоснабжение. Подобные генераторы, сжигающие ископаемое топливо, работают круглосуточно, выбрасывая в воздух двуокись углерода и другие загрязняющие среду вещества. Разумеется, эти машины невелики и количество загрязняющих веществ выглядит скромным. Однако ведь существует альтернативная система, совершенно «чистая», которая работает на батареях, перезаряжаемых при помощи фотогальванических панелей. Такая замена на солнечно-энергетическую технологию в действительности создает даже более надежные условия эксплуатации, и со временем она докажет свою экономичность. В соответствии с этим гражданские власти могли бы распорядиться, чтобы в пределах их юрисдикции подобные системы использовались в такой мере, которая на 100% исключит выброс в атмосферу парниковых газов, связанный с сжиганием ископаемого топлива. В более длительной перспективе это также приведет к понижению цен, так как горючее и обслуживание существующих малых генераторов рано или поздно обойдется в суммы, превышающие стоимость покупки и обслуживания систем, работающих на солнечных батареях.

Еще одним видом приложения возобновляемых видов энергии, где ответственные организации в состоянии заменить ископаемые на возобновляемые источники энергии, могут стать холодильники, в которых хранят вакцины медицинские учреждения отдаленных населенных пунктов стран третьего мира: это могут быть холодильные установки, работающие на фотогальванике. Большая надежность фотоэлектрических систем в сравнении с дизельными и работающими на керосине приведет к сокращению случаев порчи вакцины, которые сейчас нередки, когда работающий на горючем топливе генератор выходит из строя или горючее вовремя не доставлено. Снижение убытков от порчи лекарств также оправдывает установку более дорогих фотоэлектрических энергосистем.

Другим случаем, когда использование солнечной энергии может с учетом экономических факторов заменять сжигание ископаемого топлива, служит подогрев воды в плавательных бассейнах. Как в жилых домах, так и в коммерческих и учрежденческих секторах подача

тепла в бассейн — это идеальное приложение для солнечных панелей, дающих тепловую энергию. Здесь требуется тепло с невысокими температурами, что позволяет подобным панелям проявить всю свою эффективность. (Законы термодинамики гласят, что по мере повышения рабочей температуры солнечного коллектора тепловые потери усиливаются и общая эффективность превращения солнечной энергии света в тепловую падает). При идеальных условиях солнечный коллектор, подогревающий плавательный бассейн, может достигать и 80-процентного коэффициента полезного действия [35]. Для условий, существующих в низких широтах Северного полушария, рекомендуются пластиковые незастекленные панели. В более умеренном климате могут потребоваться застекленные, особенно, если системе предстоит работать круглый год.

В странах, где частные и общественные плавательные бассейны широко распространены, или там, где они обслуживают туристов, как это принято во многих развивающихся странах, системы, использующие энергию Солнца, могут полностью вытеснить системы, использующие сжигание ископаемого топлива. На курортах в тропическом и субтропическом климате солнечный подогрев уже доказал, что он дает владельцу куда более выгодную в денежном отношении альтернативу, чем продолжение зависимости от ископаемого топлива [36]. Органы власти в развитой или в развивающейся стране могут просто распорядиться, чтобы такое топливо совсем или почти совсем не применялось для подогревания воды в бассейнах. Остальное довершит частный сектор.

Выгода, основанная на отсутствии выброса парниковых газов, связанная с двумя описанными выше областями применения, может показаться слишком незначительной, чтобы заставить правительство разрабатывать и вводить в действие программу 100-процентной замены. Однако именно подобный «микроподход» предлагает нам возможность полной ликвидации зависимости от ископаемого топлива, в то же время, без отказа от любой из услуг, которые эти топлива нам дают. Он ясно говорит нам, что энергию ископаемых источников есть чем заменять. Более того, в отдаленной перспективе владельцы систем 100-процентно возобновляемой энергии окажутся теми, кто выгоднее других вложил капитал. Суммарное воздействие таких многочисленных «микроэкономических» оправданных мер приведет к возникновению более чистой природной среды и более рациональной энергетической системы.

Перспективная политика обнаружения и узаконивания областей 100-процентного применения даст еще и ту выгоду, что она подкрепит усилия компаний, связанных с возобновляемыми источниками энергии, быстро открыв для них рынки и сократив крупные накладные расходы, неизбежные в процессе маркетинга. Когда гражданские власти потребуют, чтобы определенные категории потребителей в извест-

ных областях применения использовали лишь системы с возобновляемыми видами энергии, это, вероятно, приведет к сокращению солидных расходов по продаже электричества, которые ныне сопровождают проникновение на рынок возобновляемой энергии, и позволит производителю и установщику сосредоточиться на том, как передать технологию.

Основная предпосылка к 100-процентной замене ископаемого топлива в избранных для этого областях применения состоит в том, что при сценарии глобального потепления никакой процент экономии их, предлагаемый альтернативой, не оказывается слишком скромным для того, чтобы его рассмотреть и внедрить. Компании, работающие в условиях ранней стадии развития рынка возобновляемых видов энергии, последовательно захватывают все новые небольшие сферы сбыта, производят большие объемы продукта по сниженным ценам, зарабатывают больше и становятся способными появляться со своими технологиями на новых рынках. Если гражданские власти способствуют тому, чтобы лица, принимающие экономические решения, остановились на 100-процентной замене ископаемого топлива системами возобновляемой энергии, убедившись в экономических и экологических выгодах таких установок, даже небольшие шаги в этом направлении помогут созданию привычности и общепринятости таких технологий, а это, в свою очередь, облегчит им проникновение на все новые рынки.

6.9. Возобновляемые источники энергии и экологическая политика

В глобальном масштабе политика охраны природной среды на многих этапах сводится к проблемам развития и внедрения технологий. Создание системы контроля за выбросом «парниковых» газов расширяет масштабы и сферу действия экологической политики, которая уже связана с охраной здоровья, качества воды и воздуха, естественных экосистем. В ряде стран экологическая политика уже начала проявлять положительное воздействие и на процессы разработки технологий применения возобновляемых источников энергии. И по мере сокращения выброса парниковых газов подобное положительное влияние усиливается. Такой подход, при котором учитываются собственные или общественные затраты, связанные с традиционными энергосистемами, будет воздействовать на лиц, принимающих решения в будущем.

Такие концепции привлекли к себе внимание в конце 1988 г., когда сотрудник Фраунхоферовского института системных и инновационных исследований (ФРГ) О.Хохмайер (O.Hohmeyer) завершил предпринятое по заказу Комиссии европейских сообществ изучение общественных затрат, связанных с производством энергии путем сжи-

гания угля и на атомных электростанциях, в сравнении с ветровыми и фотоэлектрическими [37]. Исходное предположение было, что общество принимает на себя все затраты, связанные с воздействием на природную среду, возникающим из-за применения технологий, опирающихся на сжигание топлива, или в атомной энергетике, если эти затраты не несут поставщики электричества или непосредственно сами потребители — через цену поставляемой им энергии. Общество в целом обычно покрывает расходы по различным субсидиям для малоимущих граждан, возмещает ущерб, приносимый лесам и водам, убытки от падения урожайности, вызываемые выбросом различных веществ в атмосферу.

О.Хохмайер сделал попытку рассчитать, каковы же все эти общественные расходы в Западной Германии, и впервые сумел дать им примерную оценку. Он указал: «Необходимы усилия исследователей, чтобы определить полную стоимость для общества различных энергетических систем. Зная их, правительства сумели бы принять меры коррекции, чтобы содействовать рыночному механизму в достижении оптимального распределения ресурсов» [38]. Этот автор считает, что, имея в руках подобные сведения, те, кто принимает решения в области энергетике, смогут пересмотреть сравнительные достоинства различных источников энергии и придать ускорение пока отстающим, но преимущественным технологиям.

Ныне правительства ряда стран стремятся включить в свою энергетическую концепцию такие подходы к определению и вычислению вариантов, которые позволяли бы находить пути к выявлению скрытых стоимостей энергии для всего общества. Общим результатом могут стать или решения о «вознаграждении» более чистых энергопроизводящих технологий при помощи более высоких цен на ее поставку, или же увеличение тех расходов, которые общество в целом несет в связи с использованием обычных источников энергии — это проще всего сделать или повышением цен на электричество, или урезованием различных субсидий, или ужесточением правил охраны природы и здравоохранения.

Федеральное правительство Германии приняло решение приплачивать тем, кто вкладывает капитал в ветроэнергетические системы, примерно по 8 пфеннигов (4 цента США) за каждый поставленный киловатт-час [39]. Эта сумма определена исходя из оценки внутренних, или скрытых убытков, определенных О.Хохмайером для электростанций, работающих на каменном угле, и для атомных электростанций. Привязав себя к определенному виду технологии, правительство Германии использует данную экологическую субсидию с целью поддержки ветровой энергетике, ее скорейшего развития и проникновения на рынок. Круги, связанные с ветроэнергетикой в США, также внесли предложение, чтобы там была установлена аналогичная субсидия в размере около 2–4 центов за киловатт-час, имея

в виду, что при современной технологии ветер приобрел бы должную конкурентоспособность, быстро вышел на рынок и привлек бы дополнительные капиталы, необходимые для исследовательской деятельности и внедрения.

Помимо субсидий, прямо привязанных к выработке энергии системами с возобновляемыми источниками, или налоговых льгот на средства, вкладываемые в подобные системы, существует и путь ускорения развития привлекательных в экологическом отношении технологий, состоящий в том, чтобы сделать обязательным их применение. В бассейне Лос-Анджелеса (штат Калифорния) обладающие различными юрисдикциями местные органы власти, отвечающие за качество воздушного пространства в данном регионе, составили широкий план, предусматривающий его соответствие федерально установленным пределам допустимого загрязнения атмосферы на следующее десятилетие. Один из вариантов плана предусматривает обязательную замену газовых и электрических водонагревателей солнечными. Энергетические организации южной Калифорнии считают, что от систем подогрева водоснабжения и плавательных бассейнов во многом зависит решение проблем загрязнения атмосферы и что установка солнечных систем отопления и подогрева — это путь, на котором потребитель в состоянии помочь поддерживать нормальное состояние воздушной среды, в то же время, экономя средства [40].

Руководство Южнобережного округа наблюдения за состоянием атмосферы в Лос-Анджелесе пока еще не сделало солнечный подогрев воды обязательным на своей территории, по-видимому, из-за того, что представители газовой промышленности вмешались в это дело, заявив, что они введут в строй новые газовые горелки, которые покончат с проблемами выброса окиси азота, а стоять будут меньше, чем обязательные для всех солнечные энергетические установки. Все же в некоторых небольших общинах Лос-Анджелесского бассейна уже установлен порядок, по которому в пределах их юрисдикции при строительстве всех новых жилых зданий установка солнечных водонагревательных систем является обязательной.

Выбор между реконструированными газовыми горелками и солнечными водонагревателями связан со значительными разногласиями в вопросах экологии. Промышленники, занятые изготовлением солнечного оборудования, предлагают, чтобы местные органы увеличили капиталовложения в водогрейные устройства, работающие от солнечной энергии, вместо того чтобы заменять одни газовые горелки другими, так как в первом случае сжигание ископаемого топлива в такой важной области использования энергии будет почти полностью прекращено. В условиях, когда цены на природный газ для потребителя составляют всего 4 долл. за гигаджоуль, экономия на энергии в недалекой перспективе выглядит незначительной. Однако следует отметить, что обследование, проведенное Комиссией по коммунальному обслужива-

нию штата Калифорния, установило: газовые водонагреватели, обычно применяемые здесь, имеют эффективность всего 55%. Тем самым реальная цена природного газа повышается уже до 8 долл. за гигаджоуль, так что солнечное оборудование становится более привлекательным в экономическом отношении. Учитывая предстоящее значительное повышение цен на природный газ, которое за десять лет приведет к удвоению стоимости этого топлива на месте его добычи, потребителю остается сделать выбор в пользу «солнечного» варианта.

В промышленных кругах рассматривают эту ситуацию как проблему маркетинга, подходя к потребителю с позиций предстоящих ему платежей. Например, в штате Аризона одна «солнечная» компания предлагает строителям программу, согласно которой те могут закупать солнечные водонагреватели для новых домов по цене от 1800 до 2200 долл., с полной их установкой. Если добавить эту сумму к обычной закладной, то стоимость такой солнечно-энергетической системы увеличит месячные выплаты взятых в рассрочку денег всего примерно на 12 долл., с учетом возврата основного долга и процентов на него. Домовладельцу с обычным электронагревателем воды солнечная установка сэкономит ежемесячно более 20 долл., таким образом, баланс здесь станет немедленно положительным. Изготовитель подобной системы, предлагающий описанный подход, облегчающий проникновение на строительный рынок, считает, что большинство домовладельцев, ознакомившись с таким «сценарием», предпочтет «солнечный» вариант [42].

И все же, подобные программы маркетинга нелегко воспринимаются на практике. Часто покупку дома финансирует то или иное учреждение, имеющее свои интересы. Предоставляющие обычно кредит банки в США уклоняются от перспектив, связанных с солнечной энергией, из-за того, что эта отрасль промышленности снискала себе неважную репутацию: нашлось несколько неразборчивых в средствах фирм, которые злоупотребили федеральными и «штатными» налоговыми льготами, предназначенными для того, чтобы стимулировать сбыт оборудования, работающего на солнечной энергии. С другой стороны, те признанные властями кредитные организации, которые получили должную информацию о достоинствах «солнечного» варианта, поддерживают связанные с ним программы, как это имело место, например, в штате Аризона. Кредиторы, очевидно, предпочли их в связи с тем, что ежемесячная экономия на электричестве позволяет должнику — владельцу дома, обеспечиваемого «солнечной» энергией, легче возвратить долг или же позволить себе взять в долг большую сумму.

Если принять во внимание и выброс парниковых газов, вызывающих глобальное потепление, присовокупить его к проблемам состояния воздушного пространства, как это делают в Лос-Анджелесе, подобное двойное воздействие на природную среду должно стимулировать выбор такой энергетической политики, которая поощряла бы

быстрое развитие технологий, основанных на использовании возобновляемых источников энергии. Пока этот процесс идет замедленно, но в конце концов он выведет нас на вполне благоприятный рынок. Окончательным результатом будут все более расширяющиеся перспективы для подобных технологий.

6.10. Заключение

Ныне новые энергетические технологии предоставляют более широкий выбор для вложения капитала и дают многим странам возможность сломить исторически сложившиеся традиции, согласно которым крупные инвестиции в централизованные капиталоемкие энергетические инфраструктуры являются необходимой предпосылкой экономического развития. Так же, как новые технологии привели к «размыванию» монополии компании «American Telephone and Telegraph» в США, новые энергетические технологии уже угрожают монополиям, связанным с энергетикой, основанной на сжигании ископаемого топлива, во всем мире. Результаты этого процесса положительные — конкуренция приведет к росту эффективности и снижению цен на благо потребителя. Как изучение данного вопроса, так и практический опыт показывают, что в США рост компаний, основанных на использовании возобновляемых источников энергии, как правило, создает больше новых рабочих мест, чем теряется в секторе потребления горючего. Анализ, выполненный в штатах Новой Англии, показал, что именно так обстоит дело в области энергоснабжения, основанного на биомассе сжигаемой древесины. Это также было подтверждено после того, как усилиями Ассоциации поставщиков солнечной энергии была построена модель, описывающая динамику найма и увольнения, производства и выпуска валового промышленного продукта в зависимости от того, используются ли солнечно-тепловые или снабжаемые природным газом электростанции. Наконец, можно утверждать, что те страны, которые опираются на возобновляемую энергию, могут достигнуть большей степени независимости.

Технологии, доступные в 1990 г., позволяют доставить энергию, включая электричество, в любое место, где общество ощутит в ней потребность. До недавнего времени, когда спрос на тепло, энергию для транспорта и электрическое освещение возникал вдали от уже созданных каналов энергоснабжения, высокая калорийность и легкая транспортировка делали нефтепродукты единственным выбором. Теперь же существуют технологии, позволяющие производить электричество и тепло (с температурами вплоть до 1400 град. С), непосредственно используя природные ресурсы, имеющиеся в дальних уголках почти любой страны. Спрос можно удовлетворять, не прибегая к непрерывной и длительной транспортировке горючего на большие расстояния,

без строительства протяженных линий энергопередачи и без выброса в атмосферу огромного количества газов, создающих парниковый эффект. Солнечно-энергетическая компания способна располагать солнечные коллекторы и системы накопления энергии где угодно и предлагать достаточное количество электричества и тепла, где это удобно потребителю. Компания, специализирующаяся на биомассе, может полагаться на местные ресурсы, чтобы наладить производство твердых, жидких или газообразных топлив для энергетики. Чтобы делать подобные утверждения, нет необходимости быть большим специалистом. В техническом отношении это вполне возможно. В экономическом аспекте — ситуация несколько более ограниченная, но далеко не в той степени, которую называет большинство наблюдателей и аналитиков.

Можно утверждать, что будь нам сто лет назад доступны ныне имеющиеся технологии преобразования солнечной энергии, во многих регионах мира никто не создавал бы централизованные сети энергоснабжения, опирающиеся на крупные теплоэнергетические системы и протяженные линии энергопередачи. Разумеется, где уже существуют хорошо налаженные сети, их можно использовать и для передачи энергии, полученной от возобновляемых источников, к пунктам, где в ней имеется потребность. Тем не менее, когда в круг рассмотрения включается и стоимость строительства новых современных угольных шахт, нефте- и газодобывающих установок, трубопроводов и тому подобного, там, где инфраструктура отсутствует, то становится ясным: более эффективную отдачу капитала гарантирует установка на местах солнечных, ветровых или «биомассовых» энергетических систем.

Вариант, позволяющий обойтись без больших капиталовложений в инфраструктуру энергетического снабжения, подходит не только для таких регионов, как Анды, африканская саванна или австралийская глубинка. Даже в Соединенных Штатах органы бытового энергоснабжения обнаружили, что домовладелец в удаленной местности может, установив полную солнечно-электрическую систему, удовлетворять все потребности в электричестве, возникающие в большом современном жилом доме, причем это обойдется ему дешевле, чем плата за проводку линии, которая будет поставлять электричество из сети, отстоящей от него на несколько миль. Иными словами, затраты в сумме 20 тыс.долл. на самостоятельную солнечно-энергетическую установку для своего жилища являются наиболее выгодным вариантом. Повторим снова: в определенной местности экономически целесообразней остановить свой выбор на солнечной энергии, чем полагаться на традиционную систему выработки и доставки электричества, которую существующая компания использует для обслуживания потребителя и удовлетворения его нужд.

В развивающихся странах, где сети электропередачи не существуют или где транспортировка дизельного топлива — сложное дело, включать в круг электроснабжения отдельные деревни весьма дорого.

Более того, электрические компании в таких странах понимают, что они никогда не возместят стоимость увеличения своих линий энергопередачи деньгами, получаемыми за поставку электричества. Нередко деревенские общины в подобных оторванных от центра районах создают свои микроскопические энергосети, питаемые малыми дизельными генераторами. Получаемое подобным образом электричество обходится дорого: его цена часто превышает 20 и даже 50 центов за киловатт-час (если учесть стоимость обслуживания и топлива за все время «жизни» такой системы). В долгосрочном плане возобновляемые источники энергии и тут оказываются наиболее эффективными в финансовом отношении.

Хотя удаленные потребители и не служат самым типичным случаем для всех, кто нуждается в энергии, эти примеры лишь подчеркивают высказанное выше убеждение, согласно которому системы возобновляемых источников электричества, существующие уже сегодня, вполне способны доставить энергию в пункты, где вплоть до последнего времени могли остановиться на обычных системах с ископаемым топливом. Если технологии, опирающиеся на возобновляемые источники, могут найти экономически оправданные рынки в развитых странах, где ископаемые горючие дешевле, то в развивающихся странах перспективы для них могут стать еще большими. В таких государствах спрос растет быстро, доставка энергоносителей при отсутствии развитой инфраструктуры обходится дорого, правительства обладают большей властью на энергетическом рынке; и все это может способствовать бурному распространению энергетики, опирающейся на возобновляемые источники. Помимо того, линии электропередачи еще не достигли многих удаленных сельских областей, столь характерных для развивающихся стран, и в подобных районах возобновляемые виды энергии обладают еще большей конкурентоспособностью; чтобы они могли продвигаться далее, однако, необходимо, чтобы правительства принимали решения об устранении барьеров, препятствующих этому, и о поощрении частного сектора к вложению капиталов в соответствующие технологии, чтобы затем получать прибыли от возникшего бизнеса. Таким образом, следует подчеркнуть две мысли:

- в техническом аспекте системы, поставляющие возобновляемую энергию, могут осуществлять это вполне надежно;

- подобные системы предпочтительны в экономическом отношении несмотря на то, что сегодняшние технологии выработки солнечной энергии, якобы, являются дорогостоящими, а исторически сложившиеся цены на традиционные виды энергии — дешевыми.

Данная глава сосредоточивает внимание вокруг общего положения возобновляемых видов энергии на рынке сегодняшнего дня и лишь слегка касается некоторых конкретных технологий и областей их применения (энергии древесины, малые гидроэлектростанции, биологическое топливо могут представлять собою дополнительные удачные при-

меры использования возобновляемых видов энергии). Подобный сконцентрированный угол зрения был избран, чтобы подчеркнуть, что технологии, опирающиеся на возобновляемую энергию, могут привести к существенным переменам уже в ближайшее время. Далее, отказавшись от рассмотрения новых «прорывов» в технологических областях и новых, пока еще немыслимых систем выработки возобновляемой энергии, мы избегаем критических замечаний о том, что активные сторонники такой энергетики — заблуждающиеся оптимисты. С теми технологиями, которые уже имеются в наличии, очень многие виды малых систем предоставляют существенные возможности для увеличения эффективности энергетики и отказа от ископаемых топлив, при сохранении в то же время достаточного количества поставляемой энергии для дальнейшего экономического развития. Лица, осуществляющие экономическую политику, не должны игнорировать возобновляемые источники энергии только потому, что соответствующая система выглядит пока мелкой. Один миллион установок сменится двумя, затем двадцатью и, наконец, сотнями миллионов.

Суммируя изложенное, нужно сказать, что лучшее понимание и ничем не ограниченный выбор помогут отдельному потребителю выбрать самый недорогой способ получения энергии, отвечающий его конкретным нуждам. Выбор технологических возможностей все увеличивается, так что экономические условия принятия решений весьма изменчивы. Например, в некоторых странах компании, поставляющие электричество для бытовых нужд, установили: затраты на экономию электроэнергии могут приносить потребителям большие прибыли, чем продажа им дополнительного количества киловатт-часов, связанного с ростом их потребностей. Для промышленных кругов это звучит до некоторой степени радикально, так как с самого момента их появления на свет столетие назад они ни о чем другом и не знали, как заботиться о непрерывном росте спроса на их продукт производства, а продать лишний киловатт-час энергии, выработанный своей компанией, было главным делом, не имеющим никаких альтернатив.

В нынешней же быстро меняющейся обстановке темпы технического развития все продолжают ускоряться. Те, кто регулирует обеспечение потребностей быта, и те, кто владеет средствами их удовлетворения в США, ищут путей к тому, чтобы разорвать прямую зависимость доходов последних от увеличения выработки энергии. Это приведет к более здоровой экономике и системе удовлетворения потребностей, при которых возникает понимание того факта, что экономические структуры, последнее столетие стимулировавшие ориентацию на системы, связанные с ископаемым топливом, изменились. Этот урок должен стать очевидным в мировом масштабе, и он будет очевиден. Возобновляемые источники предлагают нам безопасную, чистую, надежную и экономически выгодную энергетику. Вызов, который бросает миру проблема глобального потепления климата, должен привести

к пониманию необходимости изменения в энергетической экономике, правильной оценке потенциальных возможностей альтернативных энергетических стратегий и технологий, признанию того факта, что экспотенциальный рост мощности энергетики, основанной на возобновляемых источниках, уже на горизонте, и возникновению широчайшего выбора в области энергетики для всех лиц, принимающих соответствующие решения, где бы они ни находились.

Глава 7

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ И ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Майкл П. Уолш (Michael P. Walsh)

«...В связи с ожидаемым ростом числа автомобилей и уровня их использования выбросы CO_2 от двигателей очень резко возрастут в ближайшие 40–50 лет... Опыт, накопленный в течение 70–80-х годов, показывает, что одновременное снижение эмиссий газов (окиси углерода, углеводов и окислов азота) и широкое внедрение энергосберегающих технологий (и, тем самым, снижение выбросов CO_2) — не только совместимые, но и взаимно ускоряющиеся процессы. Успехи в обеих областях зависят, однако, от характера правительственных решений. Так, необходимо введение обязательных стандартов на эффективное использование топлива... Мы имеем реальную возможность не только сдержать отрицательное воздействие автотранспорта на окружающую среду в ближайшие полвека, но и приступить к снижению вредных эмиссий...»

Автотранспорт загрязняет воздух Земли сильнее, чем любой другой вид деятельности человека. Парниковые газы (ПГ), которые выбрасываются автотранспортом (или сопутствуют ему), включают хлорфторуглероды (фреоны), двуокись углерода (CO_2), окись азота (N_2O), метан (CH_4), а также газы-предвестники тропосферного озона: углеводороды (НС) и окислы азота (NO_x) [1]. Автотранспорт, кроме того, обеспечивает львиную долю выбросов окиси углерода (СО), играющей критическую роль в процессах аккумуляции тро-

посферного метана и озона. В данной главе основное внимание уделяется тому, где, как и в каких количествах образуются ПГ, выбрасываемые таким специфическим источником, как автотранспорт, а также приводится обзор других видов загрязнений, связанных с этой областью хозяйственной деятельности человека. Рассматриваются также тенденции развития этой деятельности и влияние автотранспорта на процесс глобального потепления. Приводятся данные о том, как транспортные средства могут ускорить необратимые процессы в атмосфере, если упомянутые тенденции сохранятся, то есть, если не будут предприняты меры по ограничению роста как количества автомобилей и других устройств, снабженных двигателями внутреннего сгорания, так и по снижению выбросов каждой транспортной единицы.

7.1. Автотранспорт как источник выбросов парниковых газов (ПГ)

Наибольший вклад в развитие парникового эффекта вносят хлорфторуглероды (фреоны, или хладоны). Он составляет около 24% [2]. В настоящее время 40% фреонов в США и 30% в Западной Европе производятся в качестве хладагента для морозильных установок и кондиционеров. В передвижных кондиционерах сейчас задействовано 56500 т фреонов — это 28% всего количества фреонов-хладагентов в США, или 13% мирового производства фреонов. В домашних холодильниках используется 3800 т фреонов — всего лишь 1% от объема производства этих веществ в США [3]. Так, примерно один из каждых восьми фунтов фреонов, производимых в США, используется (и, соответственно, выбрасывается в атмосферу) автомобильным транспортом. (Фреоны, кроме того, используются для наддува при производстве пеноподобных пластмасс, в частности поролона, идущего на сиденья автомобилей, но это очень небольшой процент).

Вторым по значению парниковым газом является двуокись углерода. Сгорание одного бака бензина обеспечивает выброс в атмосферу примерно 300-400 фунтов CO_2 . В целом транспортный сектор использует примерно 55 квадов энергии ежегодно (1 квад = 1055 эксаджоулей [ЭДж]). Это количество неравномерно распределено по различным регионам мира. Первое место с большим отрывом занимают США, расходуя 35% мировой доли энергии, потребляемой транспортными средствами. Транспорт поглощает почти треть всего мирового энергопотребления, которое, в свою очередь, характеризуется неравномерным географическим распределением.

Такие высокие значения общего энергопотребления вполне объясняют огромные цифры выбросов от автотранспорта, составляю-

щих 1100 Тг (тераграмм) углерода — почти 25% мирового выброса этого элемента (в США, например, автотранспорт обеспечивает 30% валового выброса CO_2 [4]). США эксплуатируют почти третью часть мирового парка автотранспортных средств, выбрасывающих почти столько же двуокиси углерода, сколько образуется в Восточной Европе, Азии, Китае, Африке, Латинской Америке и на Ближнем Востоке вместе.

В 1985 г. в США автотранспорт был источником 70% от общего количества выбросов окиси углерода, NO_x — 45%, углеводородов (СН) — 34%. В сумме транспортные средства, включающие, кроме автотранспорта, тепловозы, водные и воздушные суда, выбрасывают, по оценке ОТА (Управление по оценке технического прогресса при Конгрессе США), до 40% всех летучих органических загрязнителей воздуха. По той же оценке конкуренцию транспорту в этом угрожающем процессе составляет лишь суммарное испарение органических растворителей во всех технологических звеньях промышленности США [5]. Мало того, опираясь на последние исследования этого вопроса, можно заключить, что выбросы от транспорта даже превышают «потери от испарения» на 5–10% [6].

Транспорт вносит серьезный вклад в суммарные эмиссии загрязняющих веществ не только в США, но и в большинстве европейских стран. В Докладе ОЭСР говорится, что «больше всего выбросов NO_x обеспечивается автотранспортом (от 50 до 70%)... автотранспорт выбрасывает почти половину летучей органики, становясь, таким образом, на первое место по странам ОЭСР сред и источников этих выбросов.» [7].

Таблица 7.1.

Эмиссии загрязняющих веществ и доля в них транспортных средств в странах ОЭСР в 1980 г.

Вещество	Сумма тыс.т	Доля трансп. средств тыс.т (%)
NO_x	36 019	17 012 (47)
СН	33 869	13 239 (39)
СО	119 148	78 227 (66)

В таблице 7.1 показана доля автотранспорта в основных выбросах загрязняющих веществ в атмосферу [8]. Роль автотранспорта как источника выбросов в развивающихся странах варьирует в зависимости уровня развития. И, тем не менее, не вызывает сомнений тот факт, что в некоторых из этих стран доля выбросов от этого источника даже более значительна, чем в странах ОЭСР. Например, в Мехикосити, который становится одним из самых урбанизированных и густонаселенных регионов мира, автотранспорт составляет до 80% от общего количества эмиссий загрязняющих веществ по весу.

7.2. Косвенное влияние транспортных средств на процесс глобального потепления

Мы уже знаем, что влияние выбросов автотранспорта на процесс глобального потепления не вызывает сомнений, особенно в отношении таких ПГ, как фреоны и двуокись углерода. Однако имеет место не только прямое влияние. Косвенный аспект связан, прежде всего, с образованием вторичных продуктов реакций, например при фотохимически процессах, либо при образовании озона от взаимодействия окислов азота с углеводородами, либо с непрямым влиянием угарного газа. Именно эти вопросы и являются предметом обсуждения в настоящем разделе.

Угарный газ (CO) обычно не относят к ПГ, поскольку сам по себе он не вызывает экранирования тепла. Но не следует забывать о том, что CO легко реагирует с другими компонентами, например с гидроксильными радикалами (ОН), уменьшая их концентрацию в атмосфере. Снижение концентрации свободных радикалов гидроксила — весьма важный момент в развитии процесса глобального потепления, поскольку метан теперь уже связывается меньше и поступает в верхние слои атмосферы в больших количествах, а метан — это типичный ПГ [9]. В обобщении, сделанном Раманатаном (Ramanathan, [10]), сказано следующее.

«Гидроксил, как весьма способное к химическим реакциям вещество, является главным барьером на пути продвижения в тропосфере таких газов, как озон, метан, угарный газ и окись азота. Таким образом, 135-процентное увеличение концентрации метана за последние сто лет вызвало уменьшение концентрации ОН на 20–40%, что, в свою очередь, способствовало повышению концентрации тропосферного озона почти на 20%. Поскольку окисление метана ведет к образованию воды, то увеличение его концентрации сопровождается ростом количества стратосферной воды, не говоря уже о том, что сам метан является парниковым газом. Точно так же увеличение концентрации угарного газа связывает больше гидроксила в процессе его полного окисления. Таким образом, повышение концентрации не только теплоулавливающих газов, но и газов, не оказывающих непосредственного влияния на тепло атмосферы (CO), одинаково ведет к увеличению концентрации типичных парниковых газов.»

Мы убедились, что выбросы угарного газа вносят свой вклад в изменение климата. Эту точку зрения защищает и Макдоналд (McDonald, [11]).

«Угарный газ косвенно участвует в развитии парникового эффекта, внося вклад, оцениваемый в 20–40%, путем образования дополнительных количеств метана и озона... CO участвует в образовании озона, а также способствует снижению концентрации гидроксильных радикалов, препятствующих проникновению озона и метана в верхние слои атмосферы. Концентрация этих ПГ в результате растет. Таким

образом, меры по снижению эмиссий угарного газа работают на предотвращение развития процесса глобального потепления».

По крайней мере один химик-аналитик, специализирующийся на химии радикалов, убежден в том, что угарный газ вносит больший вклад в увеличение концентрации метана в атмосфере, чем все источники непосредственного выброса метана [12]. Это особенно настораживает, учитывая, что выбросы CO продолжают нарастать. Как недавно отметили Халил и Расмуссен (Khalil & Rasmussen, [13]), «средняя концентрация CO в атмосфере увеличивается на 0,8–1,4% в год, в зависимости от методики оценки, а оценки с достоверным интервалом 90% дают значения в пределах 0,5–2,0% в год».

Недавно проведенный анализ позволяет заключить, что потенциал глобального потепления (ПГП) одного грамма CO даже выше, чем ПГП одного грамма CO₂. Это связано с тем, что CO влияет на физические характеристики атмосферы двумя путями. Во-первых, он увеличивает остаточное количество метана в атмосфере на 20% — это метановый аспект. Во-вторых, каждый грамм CO так или иначе переходит в CO₂. Это аспект двуокиси углерода. Комбинация двух аспектов ведет к тому, что некоторые авторы оценивают ПГП угарного газа в 2,2 раза выше, чем для двуокиси углерода [14]. Эти факты свидетельствуют о том, что развитие мер по контролю выбросов CO от автотранспорта имеет большее значение для сдерживания процесса глобального потепления, чем снижение выбросов двуокиси углерода.

Транспортные средства являются источником выбросов метана, хотя оценить эти эмиссии количественно пока не представляется возможным. Можно только констатировать, что в результате мер по снижению выбросов суммы углеводородов за последние двадцать лет выбросы метана снижены примерно пропорционально этой сумме.

Фотохимический смог и озон, образующийся при реакциях между окислами азота и углеводородами, есть результат воздействия солнечного света на смесь газов в атмосфере. Тропосферный озон — это типичный парниковый газ. Он обеспечивает почти 8-процентный вклад в процесс глобального потепления. Но время жизни озона намного короче, чем остальных ПГ (часы, максимум дни по сравнению с десятилетиями и даже веками для некоторых парниковых газов), и снижение его концентрации даст гораздо больший краткосрочный эффект в преодолении последствий глобального потепления в самое ближайшее время.

7.3. Другие виды загрязнения, источником которых является автотранспорт

Большинство веществ, выбрасываемых в атмосферу транспортными средствами, не только способствует развитию процессов глобального потепления, но и является опасными для здоровья человека.

Кроме того, они представляют опасность для биоты в целом, нарушая баланс экосистем и влияя на урожайность сельскохозяйственных культур. Часто последние причины заставляют нас задумываться о необходимости снижения объемов выбросов даже сильнее, чем соображения об отдаленных последствиях глобального потепления. Ряд подобных эффектов описан в этом разделе главы. Озон, образующийся при фотохимических реакциях между окислами азота и углеводородами, является собой повод для особого беспокойства. Эта проблема не знает границ, и ее актуальность осознается во всех регионах земного шара. Так, более ста миллионов американцев проживает сейчас в областях, где химический состав воздуха не удовлетворяет стандартам качества воздуха [15]. Многие из этих людей подвержены болезням глаз, головным болям, а также расстройствам верхних дыхательных путей, астматическим явлениям и прочим легочным заболеваниям. При этом действующие стандарты качества воздуха имеют тенденцию к замалчиванию эффектов непосредственного влияния загрязнений на здоровье человека. Так, например, в докладе ЕРА (Агентства по охране окружающей среды США), представленном в 1987 г. Конгрессу США [16], говорится следующее.

«Повышенная концентрация озона, возникающая в особенно жаркие дни летнего времени в городских местностях, значительно влияет на функцию легких. Это отмечено не только среди групп населения, страдающих заболеваниями органов дыхания, но и среди здоровых людей. Ухудшение легочной деятельности сопровождается такими симптомами, как боли в груди и затрудненное дыхание. Наблюдаемые эффекты характеризуются периодами наиболее острого проявления в течение 1–2 часов у части здоровых людей (15–30%), имеющих предрасположенность к отрицательному воздействию озона».

Результаты других работ, представленных в 1988 г. на американско-голландском Симпозиуме по проблемам озона, показывают, что маленькие дети могут пострадать даже в условиях, когда концентрация озона не превышает существующих стандартов качества воздуха [17]. Многочисленные исследования доказывают отрицательное воздействие продуктов фотохимических процессов в атмосфере на лесные экосистемы и на урожайность некоторых сельскохозяйственных культур [18].

Важно отметить в связи с этим, что истощение озонового слоя в тропосфере может усиливать эффекты воздействия озона в приземном слое атмосферы. В докладе Американской ассоциации по проблемам легочных заболеваний отмечается следующее.

«Усиление излучения в диапазоне «ультрафиолет-В», возникающее даже при небольшом истощении озонового слоя, приводит к заметному увеличению пиковых концентраций озона в приземном слое... эти пиковые значения наблюдаются в городских местностях в более ранние часы, когда их воздействию подвергаются значительно больше, хотя и количественно не оцененное, число людей» [19].

Угарный газ, отрицательное влияние которого не требует дополнительных доказательств, большей частью поступает в атмосферу как отработанный газ двигателей внутреннего сгорания. (В некоторых регионах его основным источником являются печи, топящиеся дровами). Несмотря на значительный прогресс, достигнутый на пути снижения эмиссий СО в Европе, Японии и США, проблема еще далека от решения. Так, например, более чем в 44 районах США, близких к административным центрам, где проживает около 30 млн человек, наблюдаются превышения концентраций угарного газа в атмосферном воздухе по сравнению с существующими стандартами качества [20]. В упомянутом докладе ЕРА отмечается, что около 15 регионов США сталкиваются с периодически возникающими проблемами повышенных концентраций СО, и их решения в ближайшие годы не предвидятся [21].

Проблема угарного газа важна еще и тем, что медики находят все новые проявления воздействия этого загрязнителя на здоровье человека. Вот что показывают результаты исследования, проведенного под эгидой Института исследований воздействия на здоровье человека.

«Подтверждается гипотеза о том, что повышение уровня СО-связанного гемоглобина в крови, возникающее при вдыхании угарного газа, приближает сроки начала ишемической болезни сердца у мужчин, страдающих коронарными заболеваниями. Сокращение срока появления сегмента ST на электрокардиограмме — лучшее подтверждение этой гипотезы. По той же причине приближаются сроки начала ангина. Несмотря на то, что количественные изменения при анализе крови весьма незначительны и сопровождаются существенным разбросом биологических значений, результаты исследования представляются достаточно убедительными» [22].

Кроме того, недавнее изучение состояния здоровья людей, занятых на строительстве туннелей в Нью-Йорк-Сити, привело исследователей к выводу о том, что наиболее распространенной причиной смерти в этой группе является, прежде всего, вдыхание угарного газа от выхлопов автомобилей, приводящее к расстройству сердечной деятельности. Принятие мер по снижению выбросов может снизить эти показатели [23]. При этом не надо забывать, что угарный газ способствует повышению концентрации тропосферного озона [24].

Выбросы окислов азота (NO_x) от автотранспорта и других источников так же отрицательно влияют на здоровье людей и имеют ряд других аспектов неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Эмиссии NO_x поставляют исходные вещества для фотохимических реакций, продуктами которых являются озон и ряд других не менее (а иногда и более) токсичных веществ. Вместе с окислами серы NO_x являются причиной выпадения кислотных дождей.

Двуокись азота, например, способствует снижению сопротивляемости к заболеваниям дыхательных путей, увеличивает частоту и тяжесть астматических приступов и угнетает функции легких [25]. Такие же результаты воздействия NO_2 обнаружены при краткосрочном

пребывании школьников в этом загрязнителе воздуха (кашель, насморк, ОРЗ, астматические явления) [26].

Всемирная организация здоровья (ВОЗ) пришла к выводу о том, что часовое пребывание в воздухе с концентрацией двуокси азота в пределах 190–320 мкг/куб.м (0,10–0,17 частей/млн (ppm)) вызывает серьезные последствия для здоровья людей и недопустимо более одного раза в месяц. Штат Калифорния недавно установил предел концентрации NO_2 в 0,25 ppm при часовом пребывании в качестве безопасного для здоровья населения.

Окислы азота угнетают развитие растений. Некоторые ученые полагают, что NO_x — главная причина деградации лесов в Центральной Европе [27]. Этот эффект еще более выражен, когда кроме окислов азота присутствуют окислы серы. Обнаружено также, что окислы азота оказывают разрушительное воздействие на ряд материалов, таких, как ткани, пластики и резина. Именно NO_x придают коричневатый оттенок воздуху над загрязненными территориями.

Кислотные осадки выпадают в результате химических и физических преобразований окислов азота и серы в атмосфере. NO_x ответственны как минимум за треть выпадающих на наши головы кислотных дождей. Недавние исследования показывают, что роль окислов азота может быть даже серьезнее, чем представлялось раньше.

«Измерения соотношения нитратов и сульфатов в атмосферных аэрозолях в южной части Англии показывают неизменный рост нитратной части начиная с 1954 г. По данным всех станций Европейской сети наблюдений за химией атмосферы, содержание нитратов в осадках повышалось за весь период с 1955 г. по 1979 г. Уровень нитратов в колонках льда из Южной Гренландии неуклонно растет за период с 1975 г. по 1984 г., в то время, как уровень сульфатов остается неизменным с 1968 г. В Норвегии, по данным Съемки «тысячи озер», отмечается удвоение концентрации нитратов в 305 озерах за период с 1974–1975 гг. по 1986 г. при почти неизменном значении pH (кислотности) и содержания сульфатов» [28].

Некоторые стратегические планы по предотвращению выпадения кислотных осадков предусматривают снижение эмиссий NO_x вместе с существенным снижением выбросов двуокси серы. Представители десяти стран-участниц Конференции министров по проблеме кислотных дождей договорились «принять меры по эффективному снижению суммарных ежегодных выбросов окислов азота от стационарных и мобильных источников настолько возможно скорее» [29].

Эмиссии углеводородов, угарного газа и окислов азота от транспортных средств можно, как мы видели, рассматривать не только как причину изменения климата, но и как причину заболеваний людей, а также как неотъемлемую часть загрязнений окружающей среды поверхностными агентами. Только последних двух аспектов достаточно для того, чтобы меры по снижению выбросов CH_4 , CO и NO_x были предприняты в ближайшее время. Не следует при этом забывать, что

изменение климата и тропосферное загрязнение — тесно взаимосвязанные процессы. Изучен целый ряд механизмов этих связей. Для того чтобы решать эти проблемы в комплексе, необходимы меры по одновременному снижению эмиссий угарного газа, двуокиси углерода, углеводородов, окислов азота и хлорфторуглеродов (фреонов).

В мировом масштабе объем выбросов упомянутых веществ зависит от числа единиц транспортных средств и эффективности работы двигателей различного типа. В свою очередь, эффективность работы зависит от уровня экономии топлива на единицу пробега и от степени использования технологий контроля выбросов.

Рост численности населения Земли и расширение масштабов экономической деятельности в будущем обещают увеличение актуальности этой проблемы. Население Европы и США растет сравнительно медленно, но при этом прогнозы мирового демографического состояния предсказывают к 2000 г. удвоение численности населения Земли по сравнению с уровнем 1960 г. В Азии будет проживать более чем вдвое больше людей, а население Латинской Америки увеличится в 2,5 раза. В этих регионах активно идет процесс урбанизации. В результате парк автомобилей за ближайшие несколько десятилетий может непомерно возрасти, если уже сейчас не обратить внимание на возможности экономического развития, не связанные прямо с увеличением числа единиц транспортных средств.

7.4. Статистика мирового роста численности транспортных средств

На рис. 7.1 представлены общие тенденции динамики численности транспортных средств в мире начиная с 1930 г. С 1950 года средний ежегодный прирост числа автомобилей составляет 5,9% (для грузовиков и автобусов — 5,6%). Совсем недавно темпы прироста еще сохранялись на высоком уровне, но рост числа коммерческих транспортных средств (5,1%) превышал рост числа легковых автомобилей (4,7%). В результате к 1985 г. мировой парк автомобилей составил около 500 млн единиц, из них легковые автомобили — около 400 млн штук.

Более трети парка сосредоточено в Западной Европе и Северной Америке, остальная часть используется (в порядке убывания) в Азии, Южной Америке, Океании и Африке. По грузовикам и автобусам Северная Америка занимает первое место (40%), за ней следуют Азия и Европа.

Следует отметить ведущую роль Северной Америки и Западной Европы как центров мирового автомобильного рынка. Эта роль, по-видимому, сохранится в обозримом будущем, хотя темпы роста как

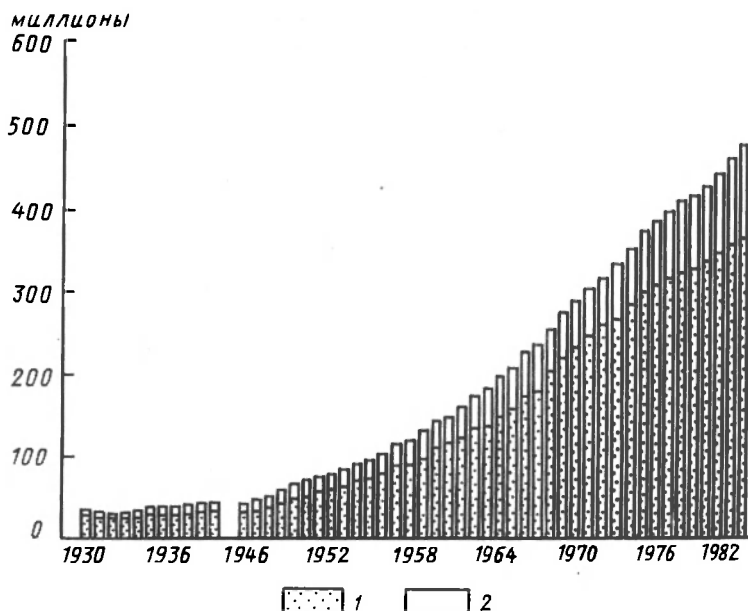


Рис. 7.1. Рост численности мирового автопарка с 1930 г. (млн.)

1 — легковые автомобили; 2 — грузовики и автобусы

производства, так и использования автотранспортных средств достаточно высоки во многих странах, не входящих в упомянутые регионы.

Значение этого факта в том, что уровень производства автомобилей в индустриально развитых странах определяет цели для других государств, вовлеченных в автомобилестроение. Представляется вполне вероятным, что тенденция к повышению эффективности использования топлива и снижению вредных выбросов, наметившаяся в Северной Америке и Западной Европе, приведет к подобным улучшениям и на других автомобильных рынках, особенно на тех, где производство автомобилей ориентировано на экспорт. Естественно, что справедливо и обратное — снижение требований в странах ОЭСР приведет к ослаблению контроля за качеством транспортных средств, производящихся в менее развитых странах.

Кроме той части прироста парка автомобилей, которая образуется в наиболее быстро развивающихся странах за счет собственного производства транспортных средств, в этих странах добавляется еще одна часть прироста — автомобили устаревших для развитых стран образцов, успешно экспортируемые ими в менее развитые регионы. За счет этого процесса продлеваются сроки эксплуатации моделей как «чистых», так и «грязных» двигателей, и в зависимости от этого обстановка в странах-импортерах устаревающих моделей может измениться как в сторону улучшения качества воздуха, так и наоборот.

7.5. Потребление топлива и эмиссии углекислого газа

Уровень правительственного контроля за потреблением топлива существенно различается в разных странах мира. В США и Японии меры по эффективному использованию топлива получают официальную поддержку. В Европе часто правительства ограничиваются официальной публикацией данных по использованию топлива, имеющих рекомендательный характер (например, Франция и Великобритания). В ряде европейских стран производители автомобилей предпринимают попытки улучшения потребления топлива по собственной инициативе. Среди мер официального порядка следует назвать введенные в некоторых странах ограничения скорости на автодорогах с целью экономного расхода топлива и уменьшения вредных выбросов, а также повышенные налоги на автомобили с высоким удельным расходом топлива на единицу пробега. Кое-где правительство идет на договорные отношения с автопромышленниками, добиваясь снижения удельного расхода топлива, скажем, на 10%. Швеция в законодательном порядке установила лимиты расхода топлива на 100 км пробега для автомобилей, производящихся в стране в текущем году.

Таблица 7.2.

Виды соглашений, используемых в европейских странах в целях экономии расхода топлива

Великобритания	Публикация данных по удельному расходу топлива; 10-проц. увеличение пробега на галлон топлива с 1978 г. по 1985 г. для легковых машин
Франция	Публикация данных по удельному расходу топлива. Средний расход топлива не должен с 1985 г. превышать 7,5 л/100 км
Зап. Германия	Снижение расхода на 10-12% (для грузовых машин на 5%) с 1978 г. к 1985 г.
Италия	10-проц. снижение расхода с 1978 г. к 1985 г.
Швеция	Средний расход в 1985 г. — 8,5 л/100 км; к 1990 г. — 7,5 л/100 км

Несмотря на отсутствие специальных правительственных программ (таких, как, например, в США), европейцы расходуют горючее более экономно, чем американцы, что, может быть, частично объясняется более высокими ценами на бензин. В большинстве европейских стран цены на горючее в среднем в два раза выше, чем в США (включая налоговые добавки), а в некоторых странах — даже в три раза. Потребление горючего на душу населения в этих странах составляет менее половины этого показателя для США.

Американский федеральный Акт по энергосбережению и энергетической политике, принятый в декабре 1975 г., внес поправки в ранее принятый Акт по транспортным средствам. Согласно поправке, ныне требуется, чтобы расход топлива для легковых автомобилей обеспечи-

вал пробег не менее 27,5 миль на галлон (8,55 л/100 км), начиная с 1985 г. Это была рекомендация ЕРА. Конкретные стандарты, разработанные в соответствии с Актом, приводятся в таблице 7.3. (Федеральные стандарты были существенно снижены администрацией Рейгана в 1986, 1987 и 1988 гг. и не полностью восстановлены администрацией Буша в 1989 г.). Автопромышленники должны были проводить испытания своих базовых моделей, с тем чтобы вся их продукция соответствовала определенным показателям. Основным стандартом служила Модель Гола, и именно под нее должны были подгоняться характеристики всех производимых в году транспортных средств. Эти показатели известны как «стандарты CAFE» (средней экономии топлива). С 1979 г. стандарт Модели Гола распространен на легкие грузовики.

Автопромышленники, которым не удавалось достичь стандарта, штрафовались на 5 долларов с автомобиля за каждые 0,1 мили недостающего пробега на галлон топлива. Штрафы могли погашаться специальными кредитами под более эффективные разработки в будущем.

«Руководство по расходу топлива», ежегодно публикующееся под эгидой ЕРА и Министерства энергетики, содержит список результатов испытаний всех моделей машин, эксплуатирующихся в городах. Главная цель «Руководства» — сориентировать покупателя на модели, которые обойдутся ему дешевле, и при этом не пострадают интересы охраны окружающей среды.

Таблица 7.3.

*Американские стандарты расхода топлива
(л/100 км, в скобках — мили/ам.галлон)*

Модель Гола	Легковые автомобили	Легкие грузовики	Легкие гр.* (2 вед.кол.)	Легкие гр.* (4 вед.кол.)
1978	13,07(18,0)	—	—	—
1979	12,38(19,0)	—	13,68(17,2)^	14,89(15,8)^
1980	11,76(20,0)	16,80(14,0)+	14,70(16,0)#	16,80(14,0)#
1981	10,69(22,0)	16,22(14,5)+	14,08(16,7)#	15,68(15,0)#
1982	9,80(24,0)	—	13,07(18,0)#	14,70(16,0)
1983	9,05(26,0)	—	12,07(19,5)#	13,45(17,5)
1984	8,71(27,0)	11,76(20,0)	11,59(20,3)#	12,72(18,5)
1985	8,55(27,5)	10,94(21,5)	11,94(19,7)#	12,45(18,9)
1986	9,05(26,0)	11,76(20,0)	11,47(20,5)#	12,06(19,5)
1987	9,05(26,0)	11,47(20,5)	11,20(21,0)	12,06(19,5)
1988	9,05(26,0)	11,47(20,5)	11,20(21,0)	12,06(19,5)
1989	8,88(26,5)	11,24(20,5)	11,20(21,0)	12,06(19,5)

Примечания: (^) — весом до 6 000 фунтов;

(#) — весом до 8 500 фунтов;

(+) — скидка делалась для машин, выпускаемых в не больших количествах и не использующих двигатели легковых машин (только в 1980 и 1981 гг.);

(*) — отдельные стандарты для 2 и 4 вед.кол. существуют с 1984 года;

Справка. В 1977 г. перед введением стандартов средний расход топлива для легковых автомобилей составлял 13,36 литров на 100 км.

Кроме того, каждая машина, производящаяся в США, должна иметь особую маркировку, удостоверяющую соответствие двигателя требованиям ЕРА по расходу топлива и содержащую сведения о расходе топлива в среднем за год (15000 миль пробега), а также данные о моделях того же класса, выпускаемых другими фирмами. Эти данные не имеют целью выработку рекомендаций для владельца автомобиля по экономному расходу топлива. Их цель — помочь покупателю выбрать наиболее экономичную модель.

При расчете данных CAFE автопромышленник может включать в средние показатели модели с электроприводом или комбинированные. При расчетах для этих моделей используются по рекомендации ЕРА показатели расхода нефти на производство электроэнергии без учета других источников, например угля. Естественно, такие расчеты дают весьма высокие показатели экономии (электромобиль в пересчете на нефть характеризуется удельным пробегом 195 миль /галлон). При усреднении показателей разных моделей эти цифры существенно улучшают результат. Таким способом стимулируется разработка и производство электромобилей или комбинированных моделей. С 1988 г. в средние показатели включаются автомобили, работающие на альтернативных видах топлива (метаноле, сжиженном газе и пр.).

Кроме обязательных стандартов на расход топлива, применяются специальные механизмы налогообложения, поддерживающие экономичные модели. Повышенные налоги взимались в 1984 г. с автомобилей, чей удельный пробег был ниже 19,5 миль /галлон (12,1 л /100 км). В 1985 и 1986 гг. эти цифры составляли соответственно 21 миль /галлон (11,2 л /100 км) и 22,5 миль /галлон (10,5 л /100 км). Автомобили, не удовлетворяющие упомянутым стандартам, подвергались налогу за «бензобжорство» в размере от 500 до 3850 долл. за каждые 0,1 миль/галлон разницы между стандартом и фактом (данные 1986 г.)

Правительство Японии в свое время обязало автопромышленников снизить расход топлива к 1985 г. на 11,2% от уровня 1978 г. В таблице 7.4 показаны успехи японского автомобилестроения на этом пути. Стандарты дифференцировались в зависимости от веса автомобилей, а процедура проверки включала 10 различных вариантов. В настоящее время успехи Японии по созданию экономичных машин начинают снижаться в связи с появлением на мировом рынке дешевой сырой нефти.

Таблица 7.4
Японские стандарты потребления горючего

Весовая категория (кг)	625	50-875	1000-1250	1500-2000
Расход в 1978 г. (л/100км)	5,38	6,94	9,01	13,16
Стандарт 1985 г. (л/100км)	5,05	6,25	8,00	11,76
Процент улучшения	6,10	9,90	11,20	10,60

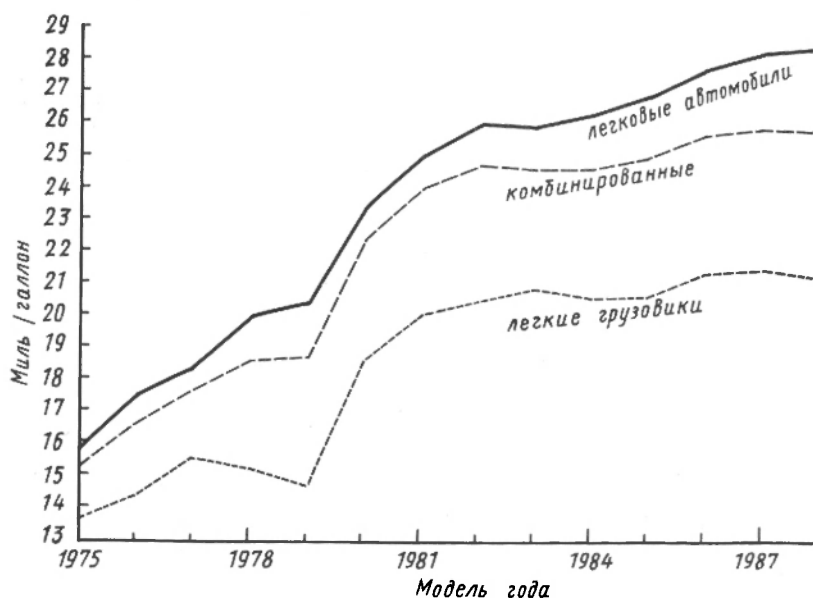


Рис. 7.2. Тенденции экономии топлива для автотранспорта США (по данным ЕРА)

По инициативе правительства Австралии (доклад, озаглавленный «Предложения к Австралийской национальной программе по консервации энергии») Федеральная палата автомобильной промышленности (FCAI) разработала «Кодекс действий по снижению расхода топлива легковыми автомобилями». Согласно этому кодексу вводятся национальные стандарты расхода топлива (NAFC), в соответствии с которыми разработаны стандарты расхода для отдельных фирм (в зависимости от объема продаж). Этими последними стандартами (CAFC) должны руководствоваться автопромышленники при запуске в производство новых моделей. Стандарты предусматривали снижение среднего расхода горючего с 11,2 л/100 км в 1978 г. до 9,0 л/100 км в 1983 г.

Опыт, приобретенный в США на пути снижения удельного расхода горючего, позволяет сделать некоторые прикидки на будущее развитие этого процесса. На рис. 7.2 показана динамика изменений стандартов во времени. Видно, как серьезные успехи в 70-х годах сменились почти горизонтальным участком кривой с начала 80-х. С этого времени стандарты почти замораживаются, рост экономии очень слабый (даже если принимать во внимание общую тенденцию к снижению веса автомобилей). В дальнейшем, если не будут предприняты новые правительственные инициативы или скачок цен на нефть не заставит вновь обратиться к экономичным моделям, автопромышленность может вернуться к старой и привычной гонке за лошадиными силами и приемистостью двигателя. Провал попыток ужесточения

стандартов CAFE в последние годы уже привел американскую автопромышленность к снижению показателей экономичности на 4% в период 1988–1990 гг. (оценка EPA). В тот же период новые модели автомобилей характеризовались 6-процентным увеличением среднего веса и 10-процентным увеличением средней мощности двигателя. Смысл урока последних лет, видимо, все-таки в том, что единственным путем снижения вредных выбросов и удельного расхода топлива остаются жесткие правовые ограничения. При этом должен иметь место рост цен на горючее, чтобы стимулировать покупателей к выбору наиболее экономичных моделей.

На мировом уровне рост экономии по удельному расходу горючего за последние годы практически незаметен. Сказывается смена курса правительств на рубеже 70–80-х годов, а также смена приоритетов на рынке в сторону улучшения других технических характеристик новых моделей, пренебрегая показателями удельного расхода топлива. В результате транспорт снова завоевывает печально известное ведущее место по потреблению нефти в странах ОЭСР (рост от 40% в 1973 г. до 60% в 1989 г.), причем на автодорожный транспорт приходится до 70% потребления. Снижение уровней нефтедобычи в странах, не входящих в ОПЕК (например, в СССР и США) и повышение уровня потребления нефти в развивающихся странах, возможно, ведут нас к новому энергетическому кризису. Потенциальная опасность такого кризиса сейчас даже выше, чем в начале 70-х. Только один этот факт с учетом последствий экономического и финансового характера, а также соображений энергетической безопасности может служить стимулом для дальнейшего прогресса в области экономии удельного расхода горючего автотранспортом. Автопарк стран ОЭСР и в ближайшем будущем останется главным потребителем нефти. Этот аргумент в свете сегодняшней ситуации может оказаться главным основанием для предположения о том, что рост объемов вредных выбросов поставит под угрозу возможность существования будущих поколений людей.

7.6. Прогноз объемов вредных выбросов

7.6.1. Выбросы CO, CH и NO_x

Для оценки объемов выбросов регионы, где используются транспортные средства, были подразделены на несколько категорий в зависимости от уровня службы контроля эмиссий загрязняющих веществ. Получилось следующее:

- * Европейское сообщество;
- * Европейская ассоциация свободной торговли;
- * Северная Америка;

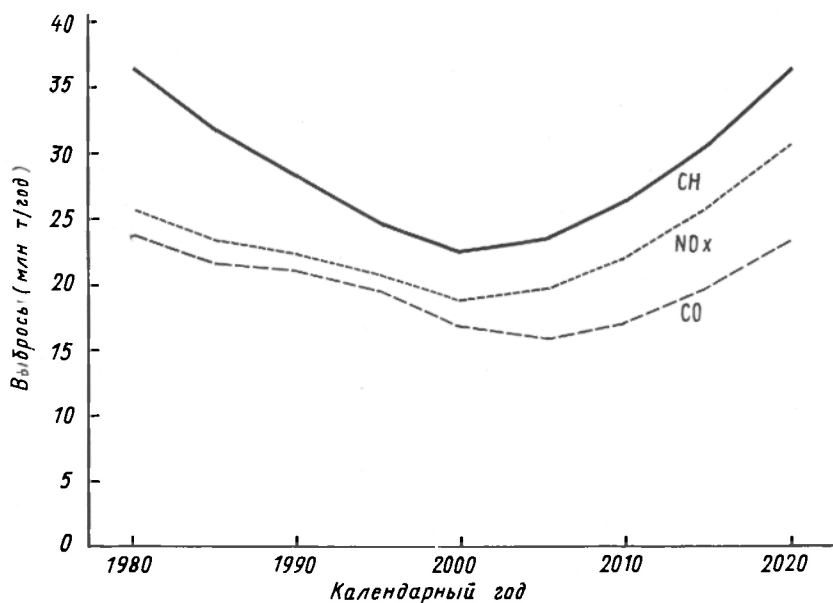


Рис. 7.3. Динамика выбросов CO, CH и NO_x в результате введения стандартов для выбросов (для CO вертикальный масштаб сжат в 10 раз)

- * Япония/Австралия;
- * Быстро развивающиеся страны;
- * Остальная часть мира.

Принимались во внимание либо действующие в каждом регионе стандарты на вредные выбросы, либо стандарты, которые должны быть введены в действие в ближайшие несколько лет.

Второй вариант оценки применялся ко всем выделенным группам, с тем чтобы результат получился таким, как будто во всем мире действуют наиболее жесткие стандарты (минимальная оценка объема выбросов). Среди них следует упомянуть стандарты штата Калифорния для легковых машин и легких грузовиков; 50-процентное снижение выбросов CO, CH и NO_x к 2000 г. (поправки к Акту о чистом воздухе США); требования к тяжелым грузовикам, которые будут введены в действие в США в течение 90-х годов; положения о контроле летучих органических веществ в процессе переработки нефти; программы по усилению и поддержке соблюдения стандартов для выбросов от автотранспорта и промышленных предприятий.

Третий вариант оценки, кроме упомянутых условий второго варианта, включал учет тенденции к общему снижению среднего пробега на единицу транспортных средств. Разница между вариантами для каждого из выделенных регионов приведена в таблице 7.5.

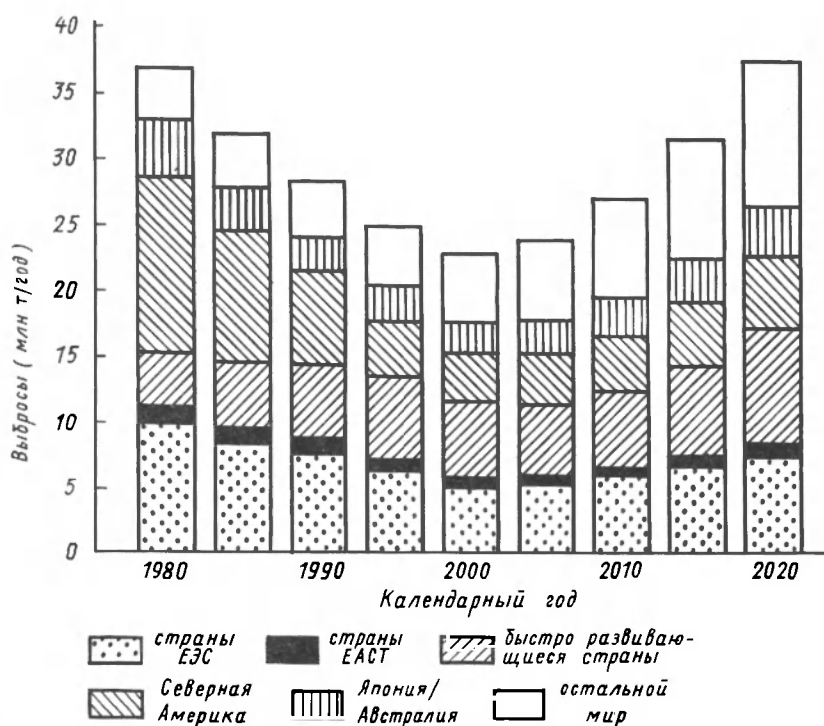


Рис. 7.4. Динамика ежегодных объемов выбросов СН по регионам в результате использования стандартов

Таблица 7.5.

Увеличение (в процентах) среднего пробега на автомобиль с 1985 г. (первая колонка) и то же, с учетом тенденции к снижению (вторая колонка)

Европейское сообщество(*)	2,50	1,50
Европейская ассоциация свободной торговли(^)	2,50	1,50
Северная Америка(#)	2,50	1,50
Япония/Австралия	3,50	2,00
Быстро развивающиеся страны(+)	5,00	3,00
Остальная часть мира	4,00	3,00
Мир в целом	3,23	1,97

Примечания: (*) — кроме Дании;

(^) — Швеция, Норвегия, Финляндия, Дания, Швейцария, Австрия

(#) — США и Канада;

(+) — Тайвань, Ю.Корея, Мексика, Бразилия, В.Европа (в том числе, 6.СССР)

На рис. 7.3 показаны тенденции мировых объемов выбросов СО, СН и NO_x при условии сохранения нынешнего положения вещей. Недавно принятые в Западной Европе требования вкупе с дальнейшим ужесточением стандартов США, принятых в результате бурных дебатов

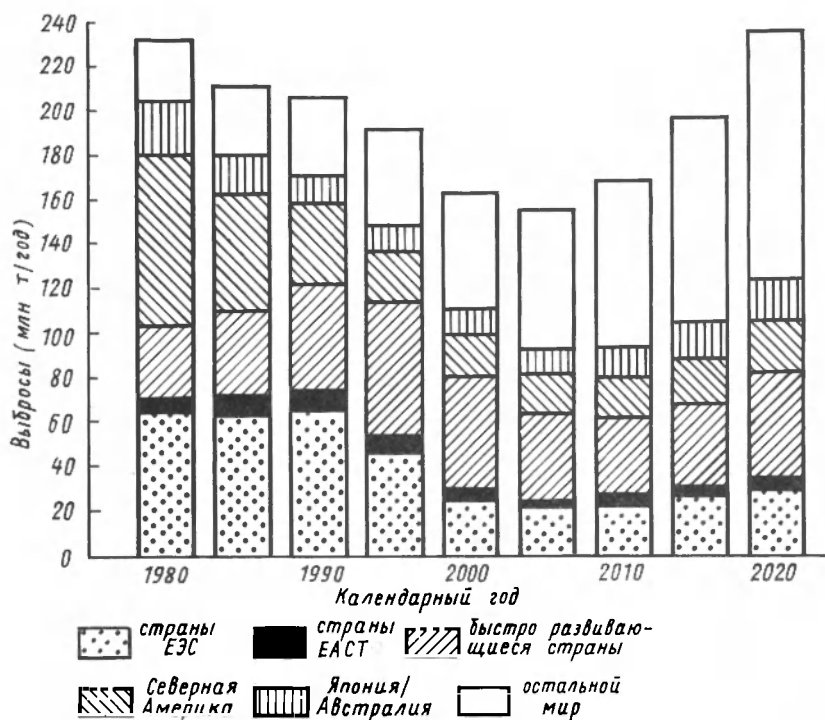


Рис. 7.5. Динамика ежегодных объемов выбросов CO по регионам в результате использования стандартов

в Конгрессе, позволяют предполагать хотя и медленное, но неуклонное снижение объемов выбросов упомянутых загрязнителей в течение 90-х годов. Однако на рубеже тысячелетия значения объемов выбросов достигнут минимума и начнут возрастать вне зависимости от улучшений в системах контроля. Рис. 7.4, 7.5 и 7.6 иллюстрируют эти тенденции, причем если развитые страны остаются главными поставщиками выбросов, то быстро развивающиеся страны характеризуются значительным относительным приростом ежегодных объемов эмиссий, не говоря уже об остальной части мира, где системы контроля вредных выбросов автотранспорта практически отсутствуют. Эта часть регионов земного шара будет наращивать свой вклад и в таком показателе, как суммарный пробег парка автомобилей.

Если бы удалось внедрить лучшие современные образцы систем контроля выбросов во всем мире, то это привело бы к снижению мировых объемов выбросов CO, CH и NO_x от автотранспорта с одновременным сокращением ежегодных темпов прироста численности мирового автопарка на 3% (для промышленно развитых стран — на 2,5%, для остальной части мира — существенно больше).

Дальнейший рост, однако, возьмет свое. После 2030 г. суммарный объем выбросов снова начнет расти вне зависимости от прогресса в

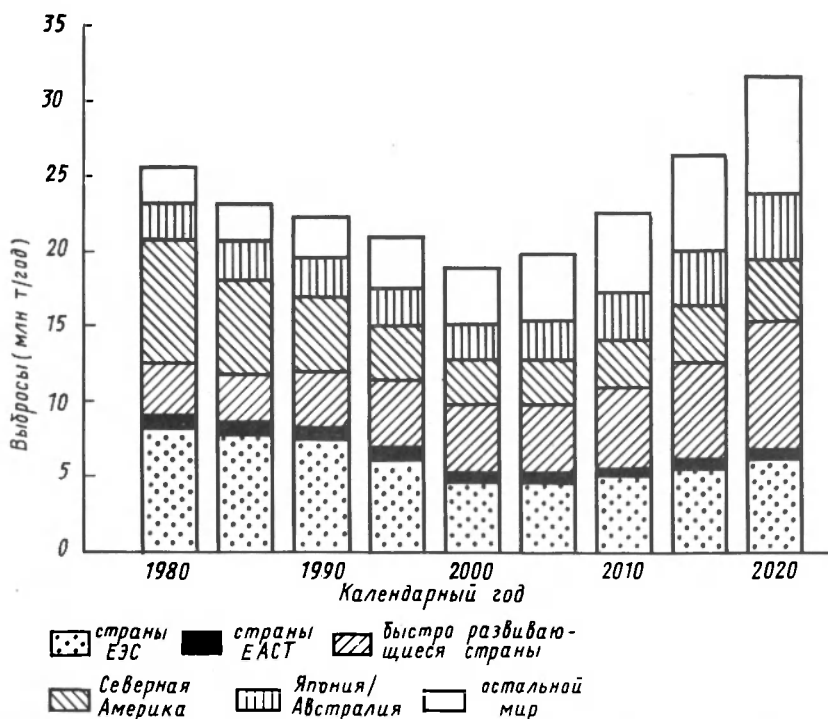


Рис. 7.6. Динамика ежегодных объемов выбросов NO_x по регионам в результате использования стандартов

технологии изготовления машин и снижении удельных выбросов на милю пробега. Рис. 7.7, 7.8 и 7.9 иллюстрируют положение вещей, связанное с уровнем систем контроля в ряде регионов. По этим рисункам видно, что реальная ситуация в этих регионах не позволяет надеяться на то, что прогресс в качестве и эффективности систем контроля успеет за безудержным ростом численности автопарка.

Третий вариант расчета, при котором рост среднего пробега на единицу транспортных средств предполагался существенно ниже (см. таблицу 7.5 и рис. 7.10) показывает все выгодные стороны подобного пути развития ситуации. Итак, пример таких стран, как Нидерланды, установившие законодательные меры по ограничению роста численности автопарка, заставляют верить в лучшее будущее для всех нас.

7.6.2. Глобальные объемы выбросов CO_2

Как было отмечено выше, удельное потребление топлива автомобилями имеет тенденцию сохранять довольно высокие значения. С начала 80-х годов темпы прогресса эффективности потребления горючего

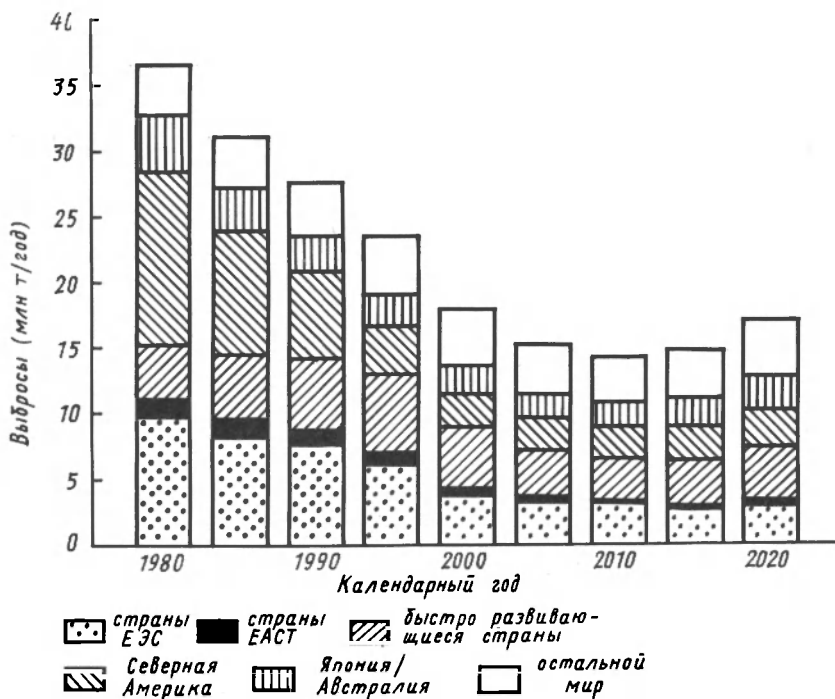


Рис. 7.7. Динамика выбросов СН по регионам в результате использования современных средств контроля

существенно снизились в связи с понижением мировых цен на нефть. Тем не менее, во многих странах до сих пор действуют ограничения скорости дорожного движения, хотя новые модели автомобилей обладают большей мощностью и способны развивать большую скорость, что достигается за счет повышенных удельных расходов топлива на единицу пробега. Среднее удельное потребление горючего для новых моделей легковых машин сейчас возрастает во всех странах ОЭСР.

Число автомобилей также возрастает, темпы роста сейчас составляют около 3% в год. Рост обусловлен прежде всего социально-экономическими сдвигами и демографическими факторами, прежде всего, в связи с поворотом стран Восточной Европы к рыночному характеру экономики.

Ежегодный средний пробег на единицу транспортных средств возрастает в нескольких странах. Похоже, это результат низких цен на нефть, отсутствия стимулов к энергосбережению, а также влияния проблем городского планирования массовых перевозок. Интенсивность движения в пригородных и загородных районах также возрастает, что ведет за собой увеличение удельного расхода горючего на километр пробега.

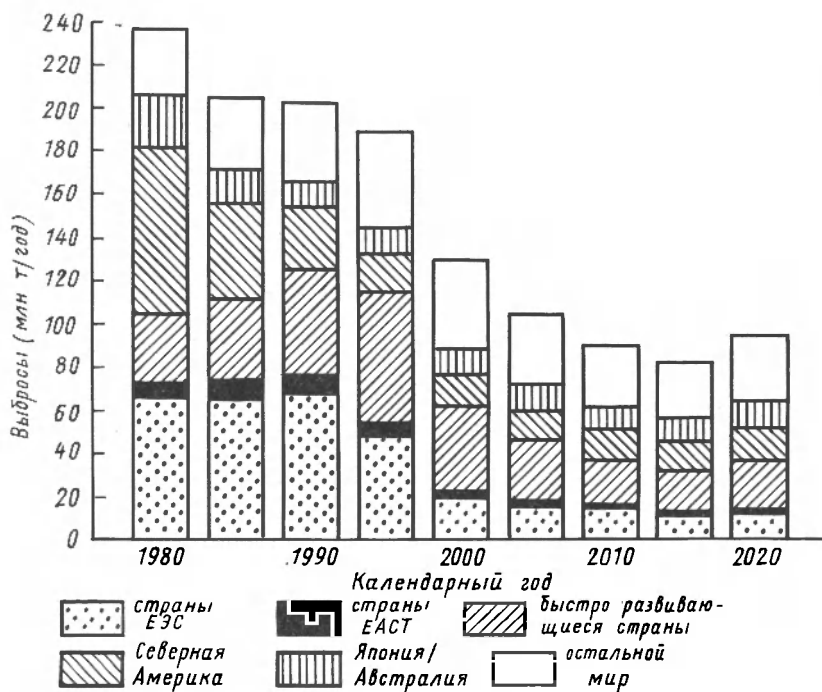


Рис. 7.8. Динамика ежегодных объемов выбросов СО по регионам в результате использования современных средств контроля

Торонтская конференция по глобальному потеплению позволила заключить, что в весьма короткие сроки (в ближайшие 15 лет) необходимо снижение прироста суммарных выбросов двуокси углерода на 20% — чтобы приостановить необратимые процессы изменений климата. Долгосрочная цель — снижение темпов прироста объема выбросов на 50%. Межправительственная группа экспертов по проблемам изменений климата (IPCC) пришла к выводу о том, что если наша цель — стабилизация концентраций ПГ в атмосфере на современном уровне, то необходимо немедленное снижение объема выбросов СО₂ на 60%. Обе цели кажутся недостижимыми из-за современной ситуации с автотранспортом, а именно, роста численности автопарка, слабого развития систем контроля выбросов и внедрения топливосберегающих технологий при производстве машин.

Опыт, приобретенный в США в период 70-х и 80-х годов, показывает, что достижение одновременно двух целей — снижения выбросов СО, СН и NO_x и внедрения энергосберегающих технологий (и тем самым снижения выбросов двуокси углерода) — это не только реальный, но и взаимоускоряющийся процесс (см. рис. 7.11). При этом не следует забывать, что действительный успех на обоих направлениях возможен только при интенсивной поддержке этих мер на правительст-

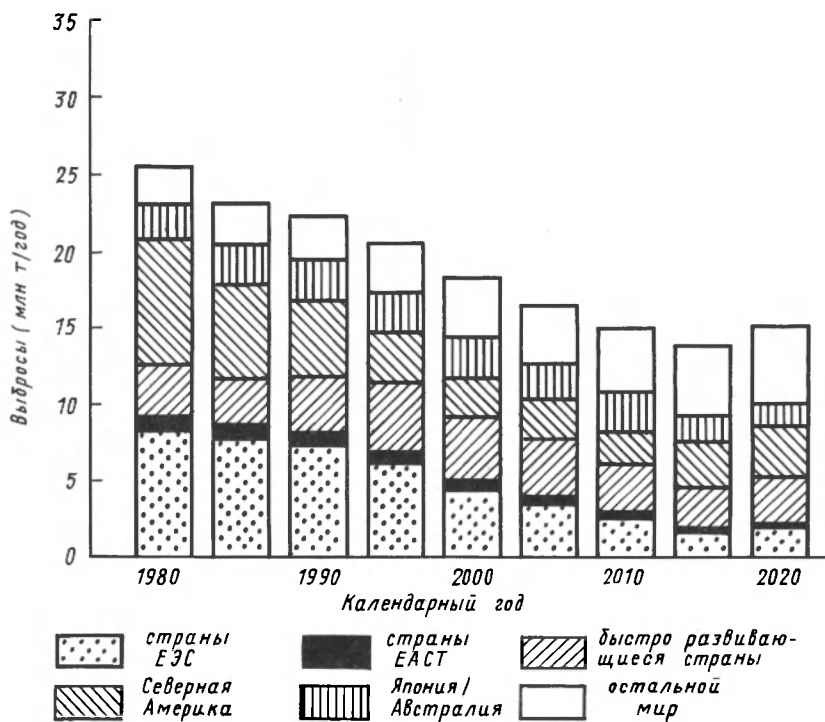


Рис. 7.9. Динамика ежегодных объемов выбросов NO_x по регионам в результате использования современных средств контроля

венном уровне. Предоставленные самим себе автопромышленники отнюдь не склонны возиться с внедрением наиболее эффективных систем ограничения выбросов или топливосберегающих технологий. Правительства многих стран мира продемонстрировали в последние годы явное непостоянство в поддержке своих же собственных устремлений, касающихся эффективного энергопотребления. Их решимость в борьбе за чистый воздух прямо пропорциональна мировым ценам на нефть. Промышленно развитые страны в настоящее время сползают на пройденные было рубежи в отношении производства экологически эффективных транспортных средств.

Поскольку сжигание 1 галлона бензина приводит к выбросу в атмосферу 6 фунтов углерода (22 фунтов CO_2), легко понять, откуда берутся возрастающие концентрации углекислого газа в воздухе. Если рост числа автомобилей и изменение их характеристик будут продолжаться в соответствии с нынешними тенденциями этого процесса, объемы выбросов углекислого газа возрастут весьма и весьма резко в ближайшие 40-50 лет. Сдержать этот процесс способно только снижение темпов роста численности мирового автопарка и интенсивности использования двигателей внутреннего сгорания.

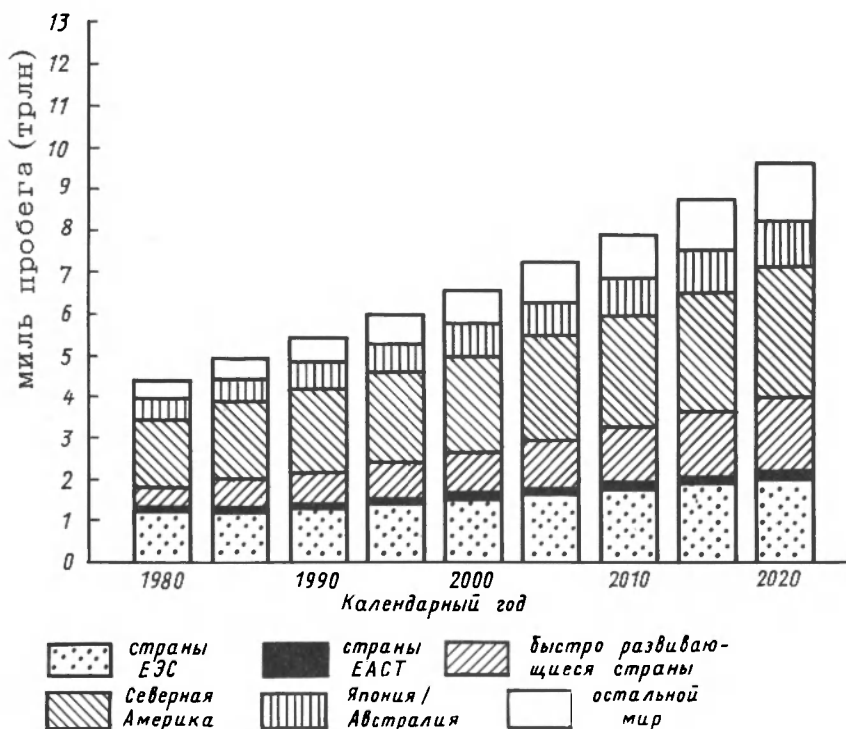


Рис. 7.10. Динамика суммарного пробега по регионам в результате использования современных средств контроля

Не последнюю роль при этом может сыграть эффективное потребление топлива. Вообще, этот процесс может развиваться в любой комбинации трех путей: сокращение среднего ежегодного пробега на единицу автотранспорта; сокращение численности автопарка; создание новых топливосберегающих моделей. На рис. 7.12 показан потенциальный эффект ежегодного двухпроцентного снижения удельного потребления горючего, начиная с текущего года. Тенденция к общему увеличению мирового потребления топлива может в этом случае смениться на противоположную. На рис. 7.13 показано, как при этом будет снижаться общий объем выбросов двуокси углерода. Дело в том, что одно лишь поддержание объема выбросов CO_2 на современном уровне не решает проблему глобального потепления, как это было показано выше. Ежегодный перевод 2% автопарка на новые системы двигателей, обеспечивающих 50-процентную экономию горючего (с 2010 г. — 3%), вместе с ежегодным двухпроцентным приростом числа усовершенствованных автомобилей действующего парка позволит начать снижение суммарных выбросов углекислого газа уже с 2000 г.

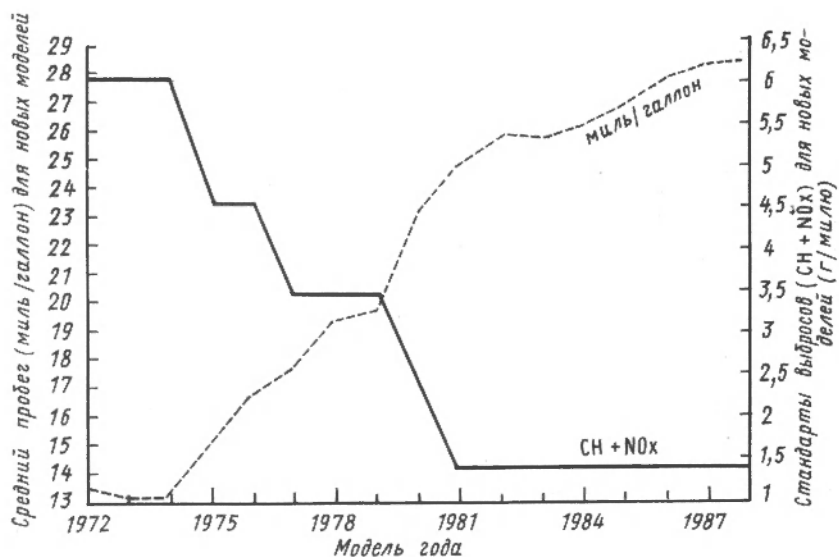


Рис. 7.11. Динамика выбросов и экономии топлива в США с 1972 г.

На рис. 7.13 также показан суммарный эффект от двух упомянутых комплексов мер. Если с 1990 г. 2% действующего автопарка будет ежегодно усовершенствоваться, а с 2000 г. 3% парка будут оснащаться вдвое более экономичными системами расхода горючего, то снижение выбросов CO_2 от автотранспорта начнет неуклонно снижаться. Здесь важно подчеркнуть, что экономичные системы расхода горючего не только экономят топливо, но и обеспечивают резкое сокращение загрязняющих выбросов в атмосферу.

Меры по сокращению численности автопарка и уменьшению суммарного пробега машин вместе с усовершенствованием действующих моделей и внедрением вдвое более экономичных двигателей достаточны для достижения целей, поставленных Торонтской конференцией. Конечно же, на этом нельзя останавливаться. Сдерживание нарастания негативных процессов снимет ряд ограничений на экономию горючего существующими моделями автомобилей, а это, в свою очередь, будет способствовать переходу к новым прогрессивным технологиям их производства.

Для нынешнего поколения автомобилей просто необходимо снижение удельного расхода топлива и ограничение количества вредных выбросов. Прогресс может идти по пути улучшения конструкции двигателя и трансмиссий, снижения веса, аэродинамических усовершенствований и более широкого использования электроники. Модели, оснащенные компьютерами, и пробные модели с удельным пробегом в

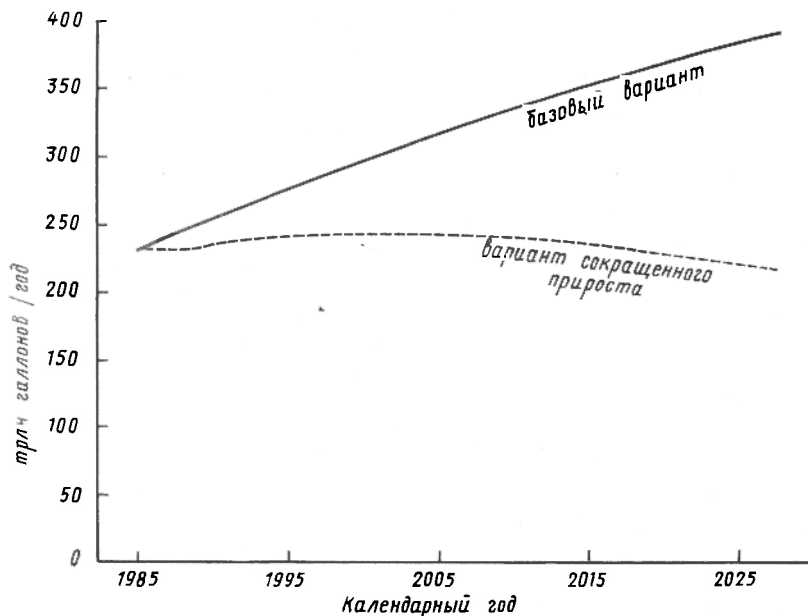


Рис. 7.12. Динамика потребления топлива с учетом двухпроцентного вклада новых экономичных моделей

пределах 60-120 миль/галлон топлива показывают, что вдвое более экономичный автомобиль можно создать, не жертвуя прочими характеристиками, такими, как объем внутреннего пространства и ходовые качества.

Энергосбережение в двигательной системе может быть связано с более тщательным учетом оптимального числа оборотов двигателя и соответствующим образом подобранным передаточным числом приводных шестерней, когда передача может переключаться почти непрерывно, а переключение управляется компьютером. Такая система обеспечивает оптимальную работу двигателя при любой скорости движения, что весьма положительно сказывается на расходе топлива. В большинстве действующих ныне моделей двигатель работает в оптимальном режиме лишь на сравнительно спокойных участках автострад.

Снижение нагрузки на колеса за счет снижения веса автомобиля и улучшения его аэродинамических характеристик также ведет к экономии топлива. К сожалению, прогресс, наметившийся было после энергетического кризиса, сменился тенденцией к расширению производства более мощных автомобилей, потребляющих существенно больше горючего при тех же условиях дорожного движения.

После 2000 г. возможны большие масштабы внедрения экологически чистых и энергосберегающих технологий, правда, при условии

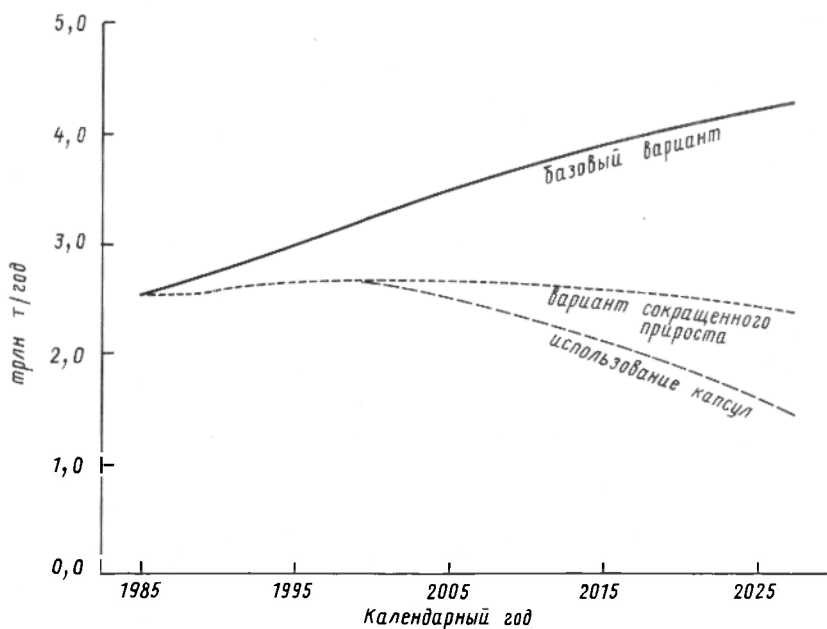


Рис. 7.13. Динамика мировых выбросов CO_2 с учетом двухпроцентного вклада новых экономических моделей и с учетом использования топливных капсул

поддержки этого процесса со стороны правительств. Имеется в виду внедрение новых типов двигателей, комбинирование двигателей внутреннего сгорания с электрическими и применение капсул с таким горючим, как метиловый спирт или водород.

Для поддержки выхода на рынок технологий экономии горючего необходим широкий набор административных рычагов. Это стандарты расхода топлива; экономические меры, направленные на совместные действия производителей автомобилей и топлива, а также потребителей; более широкое обсуждение проблем экономии в средствах массовой информации и официальных изданиях. Налоговая политика должна способствовать выпуску экономических моделей и препятствовать увеличению числа автомобилей с высоким удельным расходом топлива. Налоги могут распределяться по следующим статьям:

- * налоги на топливо ;
- * налоги на расход топлива автомобилем (как при продаже, так и ежегодные сборы);
- * сборы на дорогах и при пересечении границ, зависящие от характеристик потребления топлива;
- * сборы за парковку, дифференцированные по тому же критерию.

При нынешних ценах на топливо (и даже при гораздо более высоких) резко ограничиваются возможности внедрения топливосберегающих мер, поскольку они невыгодны при обычных рыночных прикидках. Поэтому только налоги на топливо не решают проблемы.

Наиболее эффективным представляется комбинирование стандартов с экологической направленностью и экономических рычагов. Если правительства осознают грозящую нам опасность, то они должны начать действовать уже сейчас, чтобы первые результаты проявились к концу столетия.

У нас есть возможность принять ряд мер, как кратко-, так и долгосрочных. Комбинируя улучшение конструкции двигателей с аэродинамическим дизайном, снижением веса, облегчением режима качения колес и современными электронно-вычислительными средствами, можно прийти к модели на 30–40% более экономичной, чем большинство современных, и сделать это в ближайшие 5–7 лет. Улучшенные виды топлива и совершенствование систем проверки работы автомобилей может положительно сказаться на этом процессе. В дальней перспективе эта деятельность должна привести к созданию моделей на 60% более экономичных, чем нынешние.

7.7. Взаимосвязь между выбросами CO_2 и стандартным набором загрязнений воздуха от автотранспорта

С тех пор как появились ограничения на вредные выбросы, автопромышленники начали жаловаться на то, что эти правила не позволяют им добиваться в своих моделях необходимого уровня экономии горючего. В настоящее время эти аргументы снова пошли в ход. Через автопромышленное лобби проталкивается мысль о том, что ужесточение требований к выбросам CO , CH и NO_x способствует развитию глобального потепления, поскольку ведет к увеличению объема эмиссий CO_2 . В связи с этим стоит рассмотреть подобное утверждение более внимательно. На самом деле имеющиеся данные не подтверждают подобной зависимости.

Как было показано выше, опыт, накопленный в течение 70–80-х годов в США, говорит о том, что достижение двух целей одновременно (снижение эмиссий CO , CH и NO_x , а также снижение объемов выбросов CO_2 за счет использования энергосберегающих технологий) — не только совместимые, но и взаимноускоряющиеся процессы. Несмотря на этот факт, ряд автопромышленников продолжают пользоваться тем аргументом, что ужесточение требований к чистоте выхлопных газов сопровождается увеличением объема выбросов углекислого газа и, следовательно, развитием процесса глобального потепления. Прежде всего это связано с ограничениями эмиссий окислов азо-

та. Для того, чтобы рассмотреть этот вопрос в деталях, были взяты данные для Модели Года — 1989, полученные ЕРА. Анализировались реальные объемы выбросов CO_2 на фоне эмиссий NO_x , CO и CH_4 на одну милю среднего пробега автопарка. Результаты анализа делают очевидным факт одновременного снижения выбросов всех четырех упомянутых веществ. Эти выводы заставляют придерживаться той точки зрения, что более жесткие стандарты на все виды загрязняющих веществ все-таки способствуют внедрению новых, более экономичных систем подготовки топливно-воздушной смеси и управления зажиганием, что, в свою очередь, приводит к общей экономии топлива.

7.8. Фреоны

Существенное снижение выбросов фреонов может быть достигнуто за счет усовершенствования устройств герметизации в кондиционерах воздуха, а особенно — в процессе ремонта фреоносодержащей бытовой техники, поскольку очень большое количество этих загрязнителей уходит в атмосферу именно из ремонтных мастерских. Структура фреонов, используемых в США, представлена в таблице 7.6.

Таблица 7.6.
*Оценка потребления фреона-12
в автомобильных кондиционерах*

Использование	Потребление (тыс.л.)	% от общего количества
Начальная зарядка		
США	14,7	27,2
импорт	2,8	5,2
вне рынка	1,0	1,8
Перезарядка		
после утечки	13,5	25,0
после тех. обслуживания	18,2	33,6
после поломки	3,9	7,2

Прежде всего, для таких высокотлетучих веществ, как фреоны, необходим постоянный контроль «от колыбели до могилы», особенно для той их части, которая используется на автотранспорте. Такая стратегия может включать следующие элементы:

* Особые стандарты для прокладок, пломб и кранов, побуждающие автопромышленников бороться с возможностями утечки фреонов.

* Обслуживание фреонсодержащих устройств в мастерских с соответствующим уровнем оборудования высококвалифицированным персоналом.

* Немедленное запрещение продажи баллончиков с фреонами для перезарядки автомобильных кондиционеров по принципу «сделай сам».

* Запрещение продажи фреонов как таковых в максимально короткие сроки.

7.9. Заключение

Выбросы углеводородов, угарного газа и окислов азота от автотранспорта являются главной причиной развития процессов необратимых изменений климата. Они также неблагоприятно сказываются на здоровье населения и наносят вред окружающей среде в результате загрязнения приземного слоя атмосферы. Кроме того, обнаружено, что загрязнение тропосферы и изменение климата прямо связаны между собой через целый ряд механизмов. Чтобы обеспечить комплексный подход к решению этих проблем, необходимо одновременное снижение выбросов CO, CO₂, CH₄, NO_x, фреонов. Контроль эмиссии этих загрязнений преследует двоякую цель: предотвращение нарастающих процессов изменения климата и снижение уровня загрязнения городской воздушной среды.

В мировом масштабе суммарный объем выбросов упомянутых загрязнителей воздуха зависит от численности автопарка и нормы выбросов в среднем на одну машину. В свою очередь, норма выбросов зависит от степени экономии горючего, использования современных способов контроля и технологии улавливания выбросов (каталитические конвертеры). Обязательные стандарты экономии горючего необходимы для снижения темпов роста эмиссии CO₂. Эти меры вкупе с контролем выбросов CO, CH₄ и NO_x создают возможность сохранить объем выбросов на современном уровне на фоне растущей численности мирового автопарка в ближайшие 50 лет. Мало того, не исключена возможность снижения ежегодных суммарных объемов эмиссий.

Правильная политика решения местных и глобальных проблем охраны окружающей среды, связанных с автотранспортом, может включать следующие элементы.

* Введение жестких стандартов для выбросов CO, HC и NO_x при продаже новых автомобилей как в США, так и, в конечном счете, во всем мире и использование самых современных и эффективных способов контроля.

* Введение стандартов для выбросов CO₂, имеющих целью снижение глобального объема выбросов на 20% в ближайшем и на 50% — в отдаленном будущем (имея в виду не только эмиссии из выхлопных

труб автомобилей, но и весь цикл автомобилестроения, производства и использования горючего). Это, скорее всего, будет означать достижение к 2000 г. удельного пробега 40 миль/галлон топлива (к 2030 г. — 90 миль/галлон), даже если не удастся ограничить рост численности мирового автопарка.

* Сокращение стимулов роста численности мирового автопарка и интенсивности его использования. Это должно включать, как минимум, проведение такой государственной политики, которая создавала бы серьезные альтернативы использованию частных автомобилей. Другим не менее важным элементом должно быть неуклонное повышение цен на топливо, ориентирующее покупателей на наиболее экономичные модели машин и виды топлива. Все эти меры призваны иметь целью создание такого образа жизни, при котором использование автотранспорта и другие формы расхода энергии будут неуклонно снижаться.

Глава 8

АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ И ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Билл Кипин (Bill Keerin)

«...В то время как растет потребность в энергии в современном индустриальном мире, оказалось, что даже самая грандиозная (и практически невыполнимая) программа развития ядерной энергетики не сможет уменьшить в будущем эмиссий двуокиси углерода... Полная замена угля потребовала бы строительства новой АЭС каждые 2–3 дня в течение четырех десятилетий.

...В Соединенных Штатах каждый доллар, вложенный в повышение эффективности использования энергии, может приблизительно в семь раз уменьшить выбросы углерода по сравнению с долларом, вложенным в развитие ядерной энергетики... даже если осуществились бы оптимистические прогнозы и стоимость атомной энергии упала бы до 5 центов за 1 кВт-ч, то все равно повышение эффективности использования электрической энергии могло бы от двух с половиной до десяти раз сократить выбросы по сравнению с потенциальными возможностями АЭС при тех же капиталовложениях. И это соотношение может сохраниться...»

В настоящее время глобальное потепление является, по-видимому, самой серьезной угрозой для окружающей среды и жизни на нашей планете. Между тем, распространяется выпадение кислотных дождей, а загрязнение воздуха охватывает все регионы нашей планеты, достигая катастрофических концентраций в промышленных районах. Основной причиной возникших проблем является сжигание угля,

нефти и природного газа. В связи с этим в последние годы во всем мире нарастают требования общественности сократить потребление ископаемых видов топлива.

Ядерная энергия поэтому в последние десятилетия привлекает особое внимание. Она широко разрекламирована как одно из самых лучших средств, с помощью которого можно достичь существенного уменьшения расхода традиционных видов топлива. В частности, с учетом угрозы глобального потепления, ядерная энергия рассматривается некоторыми специалистами как единственное средство, позволяющее практически разрешить эту проблему.

В 1988 г. бывший тогда министр по защите окружающей среды Объединенного Королевства сказал: «Если мы хотим остановить процесс разрушения окружающей среды, мы должны сконцентрировать наши усилия на массовом увеличении производства ядерного топлива» [1]. На первый взгляд, естественно ожидать, что ядерная энергия является наилучшим заменителем существующих и используемых ископаемых источников энергии. Атомные электростанции непосредственно не выделяют углекислого газа (CO_2), а весь цикл превращения ядерного топлива в потребляемую энергию связан с выделением ничтожного количества двуокиси углерода, окисляющих газов и других загрязнителей атмосферы, которые выделяются при сжигании обычных видов топлива [2].

Однако при более пристальном анализе оказывается, что переход на ядерную энергетику не оправдывает этих надежд. В этой главе с нескольких точек зрения рассматривается возможность замены традиционных видов топлива на ядерное и делаются соответствующие выводы. Во-первых, быстрое распространение атомных электростанций не повлияло заметно на угрозу глобального потепления. Во-вторых, повышение эффективности использования энергии может в будущем способствовать быстрому уменьшению образования углекислого газа при значительно меньших затратах, чем производство ядерного топлива. В-третьих, возобновляемые источники энергии в перспективе обещают более долгосрочное обеспечение потребностей в энергии, чем атомная. Кроме того, некоторые проблемы, возникающие при развитии ядерной энергетики, до сих пор остаются нерешенными.

В настоящем разделе исследуется несколько гипотетических проблем, связанных с быстрым распространением атомных электростанций. В этом исследовании проведен анализ недавнего периода развития. В то же время, эффективное распространение ядерной энергетики в большинстве стран представляется весьма отдаленным. (В настоящее время ожидать дальнейшего роста потребления ядерной энергии не приходится).

Шесть стран Европейского сообщества пришли к решению либо не расширять ядерную индустрию, либо добиться закрытия АЭС в соответствии с референдумом (например, Италия) [13]. Шведский референдум потребовал прекратить разработки ядерной энергетики к 2010 г.; а после Чернобыльской аварии швейцарский парламент принял решение провести изучение возможности прекратить работу АЭС к

2025 г. [4]. В Соединенных Штатах начиная с 1978 г. не было ни одного заказа на строительство атомных станций, и американский деловой журнал «Forbes» высказывал мнение, что провал ядерной программы является величайшим бедствием в истории бизнеса [5]. Ядерные программы в большинстве стран третьего мира были или аннулированы, или резко сокращены.

Даже в Великобритании, где правительство всегда поддерживало развитие ядерной промышленности, недавно было высказано предложение о прекращении дальнейшего финансирования таких разработок. Британское правительство приватизировало предприятия, производящие электроэнергию, которые первоначально были национализированы. Ядерная энергетика, однако, оказалась неприемлемой для большинства вкладчиков и, в конце концов, она осталась национализированной. Британское правительство потребовало от всех потребителей электроэнергии оплачивать до 20% расхода нетрадиционных (т.е., ядерного) источников энергии.

Субсидирование высокой стоимости ядерной энергии привело к установлению налога на использование обычных источников энергии, и правительство вынуждено было прийти к решению не содействовать дальнейшему развитию атомных электростанций [6].

8.1. Может ли ядерная энергетика решить проблему глобального потепления?

Каковы перспективы предотвращения глобального потепления путем широкомасштабного развертывания ядерной энергетики? Пытаясь ответить на этот вопрос, мы предлагаем в данном разделе развернутый анализ возможного экологического эффекта в глобальном масштабе в случае, если будет запущена программа массового производства ядерной энергии. С этой целью сценарий об энергетическом будущем мирового сообщества должен быть видоизменен в соответствии с допущением ускоренного глобального развертывания атомной энергетики при одновременном предположении, что эффекты образования углекислого газа ограничены допустимым уровнем. Детальное техническое описание такого исследования было в свое время опубликовано [7].

Такой вариант глобального развития энергетики выбран как типовой проект из существующих и опубликованных Министерством энергетики Соединенных Штатов [8].

С аналогичной целью можно было бы использовать большое количество других вариантов; однако во всех изученных сценариях выводы, в грубом приближении, оказываются одинаковыми. В силу этого, мы ограничимся анализом указанного варианта развития энергетики [9]. Выбранный сценарий исходит из известной модели глобальных выбросов углекислого газа в ходе производства энергии, которая наиболее широко используется и всесторонне испытана на практике [10].

Основное количество потребляемой энергии определяется допущениями о непрерывном росте населения и производительности труда, планом спроса и предложения на каждый вид топлива и начальными условиями. Сценарий был получен путем определения всех параметров модели, при этом исходили из усредненных оценок. Результаты, полученные на его основе, являются типичными для основного проекта развития энергетики, учитывающего образование CO_2 . Проектируемый умеренный рост производства энергии во всем мире предполагает, что количество потребляемой энергии достигнет к 2025 г. 21,3 тераватт (ТВт = тысяча миллиардов ватт), из которых 9,4 ТВт приходится на уголь, 4 ТВт — на нефть, 3,6 ТВт — на газ, 2,9 ТВт — на гидроэлектростанции и только 0,7 ТВт — на атомную энергию и возобновляемые источники энергии [11]. Эмиссии углерода постоянно растут и достигнут 10,3 Гт в год к 2025 г., т.е., по сравнению с современными, возрастут примерно в два раза (гигатонна = миллиард тонн). Предлагаемый сценарий в первом приближении совпадает со сценарием, опубликованным ИРСС, хотя в последнем количество энергии и образование CO_2 указаны несколько большими, чем в нашем варианте [12]. Поэтому для достижения уровней выбросов углерода, обсуждаемых ниже, на основании данных ИРСС потребовалась бы даже более мощная ядерная энергетическая программа.

8.1.1. Оптимистические рассуждения об атомной энергии

Для того чтобы дать оценку тем надеждам, которые возлагаются на атомную энергетику в связи с парниковым эффектом, рассматриваемые ниже экономические и политические условия берутся преднамеренно оптимальными для атомной индустрии.

Во-первых, поскольку уголь представляет собой наиболее «грязное» ископаемое топливо, эта гипотетическая программа развития ядерной энергетики имеет целью вытеснение угольной индустрии. Это гарантирует максимальное снижение выбросов углерода. Это потребует от сооружаемых атомных электростанций максимального снижения эмиссий углекислого газа [13]. Кроме того, уголь — наиболее просто замещаемое ископаемое топливо, так как он используется, в основном, для производства электроэнергии или процессов нагрева. Во-вторых, описываемая гипотетическая программа может быть запущена практически немедленно и реализована относительно быстро. По мнению климатологов, это существенно потому, что глобальному потеплению присуще временное запаздывание по отношению к образованию CO_2 [14]. Таким образом, чем скорее будет создана индустрия, которая могла бы уменьшить количество выделяемого CO_2 , тем большим будет эффект замедления процесса глобального потепления.

По этой причине делается допущение, что мировые усилия направлены к полному переходу от угля к ядерному топливу и что этот

процесс будет полностью осуществлен к 2025 г. Такой стратегический план направлен на создание условий, при которых образование CO_2 будет сведено до минимума при данном уровне производства атомной энергии [15], что, в свою очередь, окажет наиболее благоприятное воздействие на процесс потепления климата [16]. В дополнение к сказанному следует сделать несколько допущений относительно технологий производства ядерной энергетики. Они также выбираются как наиболее оптимальные.

Допущение первое. Ядерная энергия является очень дешевой энергией. Это допущение делается на основе мнения убежденных сторонников атомной энергетики: стоимость капитального строительства оценивается в 1000 долл. на киловатт (по сравнению со стоимостью в 3000 долл. на кВт, которая имеет место в США в настоящее время). Стоимость электрической энергии предполагается, по новому плану, в 5 центов за киловатт-час [17] (по сравнению со стоимостью в 13,5 центов за киловатт-час в США в настоящее время) [18]. Эта величина согласуется с опубликованными стоимостными данными во Франции, где строятся стандартные атомные станции [19].

Допущение второе. Ядерные установки могут быть построены относительно быстро. Полное время разработки и строительства атомной электростанции мощностью в 1000 мегаватт (МВт = миллион ватт) [20] не превышает шести лет, что также уже осуществлено во Франции (по сравнению со сроком в 10–12 лет в США).

Допущение третье. Атомная энергия считается идеально чистой (не загрязняющей окружающую среду) и безопасной. Все проблемы, связанные с использованием ядерной энергии, считаются решенными или легко разрешимыми, а именно: а) обработка ядерных отходов и их хранение, б) все вопросы безопасности, охрана здоровья, в) осуществление консервации выведенных из эксплуатации АЭС и г) реальная возможность использования АЭС для производства ядерного оружия. Все перечисленное и составляет экстремальные гипотетические допущения, и с ними связаны основные надежды на полное устранение угрозы для окружающей среды и, в конечном счете, для будущей жизни на нашей планете [21].

Такая программа развития атомной промышленности принята в описываемом сценарии постепенного перехода от получения энергии из угля к получению энергии из ядерного горючего. Предполагается, что ее осуществление начинается в настоящее время и что она будет полностью выполнена к 2025 г. [22]. Помимо этого сценарий остается неизменным.

8.1.2. Экономическая неосуществимость

Что же подразумевается под предлагаемой программой? Как показано на рис. 8.1, человечество должно построить более чем пять тысяч больших атомных электростанций к 2025 г., причем приблизи-

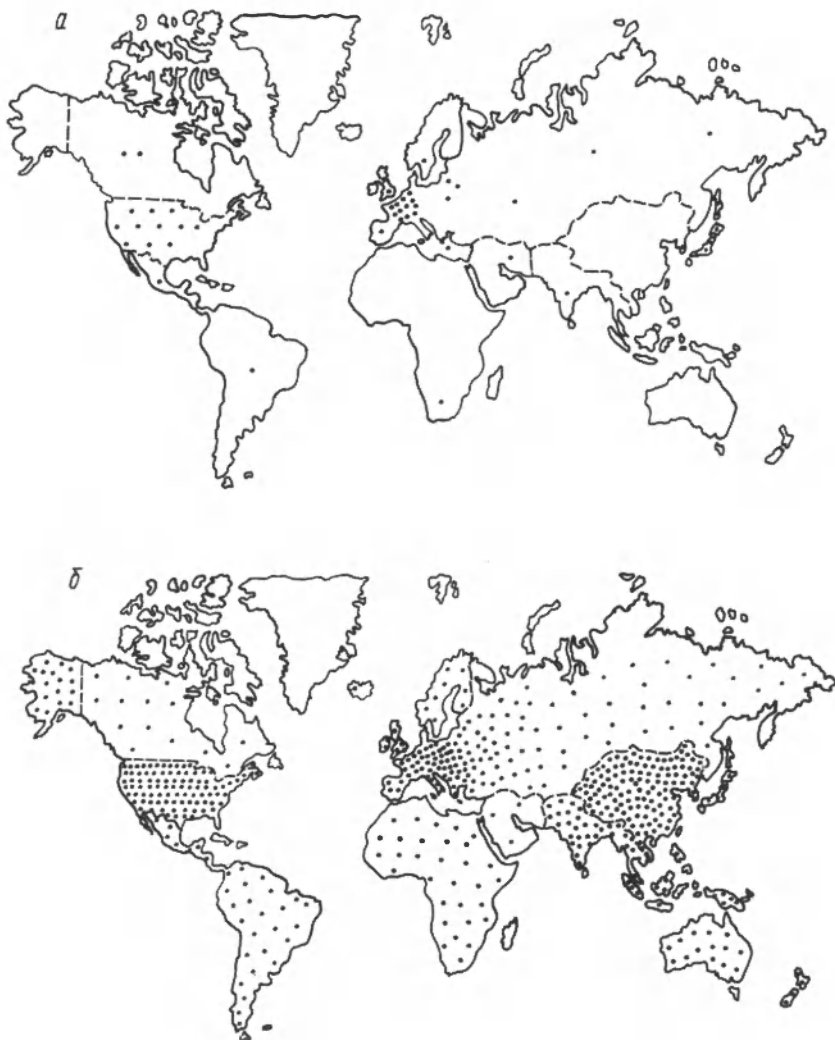


Рис. 8.1. Невозможность предотвращения глобального потепления с помощью ядерной энергетики

а) Сегодня: приблизительное геополитическое распределение атомных электростанций в 1990 г. Каждая точка на карте соответствует десяти большим ядерным реакторам (1000 МВт каждый). Точное расположение АЭС было изменено с целью более четкого графического изображения. В некоторых развивающихся регионах количество действующих станций меньше изображенного. б) 2025 г.: приблизительное геополитическое распределение 5346 новых АЭС, которые должны быть построены к 2025 г. в соответствии со сценарием, предполагающим их ведущую роль в предотвращении глобального потепления. Как и на рис. 8.1 (а), каждая точка эквивалентна АЭС мощностью в 1000 МВт. Даже взяв за основу практически невыполнимый сценарий развития АЭС, глобальная эмиссия CO_2 от сгорания всех видов топлива останется прежней или увеличится по отношению к уровню 1988 г. Размещение точек на карте приблизительное

Таблица к рис. 8.1

*Распределение мощностей АЭС по разным странам
Мощность в 1 ГВт эквивалентна одной большой АЭС*

США	10771 ГВт
Западная Европа и Канада	564 ГВт
Япония, Австралия, Новая Зеландия	957 ГВт
Центральная Азия	1147 ГВт
Юго-Восточная Азия	511 ГВт
Африка	529 ГВт
Средний Восток	29 ГВт
Латинская Америка	335 ГВт
В сумме	5346 ГВт

тельно половину этого количества — в странах третьего мира. Это означает, что энергетические блоки мощностью в 1000 мВт в среднем должны вступать в строй каждые двое с половиной суток в период с 1991 г. до 2025 г. Общая стоимость капитального строительства программы оценивается в 5,3 трлн долл. (по курсу 1987 г.), или, в среднем, 144 млрд долл. ежегодно, из которых развивающиеся страны должны затрачивать ежегодно 1 млрд долл. Полная стоимость генерируемой электрической энергии достигала бы, по усредненным расчетам, 525 млрд долл. ежегодно, из которых 170 млрд приходилось бы на развивающиеся страны. К 2025 г. общая (глобальная) мощность атомных станций должна достигнуть 5200 гигаватт (ГВт = миллиард ватт), т.е. в 18 раз больше, чем производимая ими в настоящее время [23]. Из этого количества 2330 ГВт приходится на страны третьего мира. Это означает, что они должны были бы начать производить в 155 раз больше энергии, чем в настоящее время (15,02 ГВт) [24]. Только одна Латинская Америка, которая сегодня потребляет энергию мощностью 1,7 ГВт, к 2055 г. должна будет производить 334 ГВт, что превосходит суммарную мощность всех атомных электростанций, действующих в настоящее время в мире [25].

Реализация такого сценария оказывается невыполнимой. Экономическая нагрузка в промышленно развитых странах оказалась бы экстремальной, а экономика, возможно, полностью расстроена. Развивающиеся страны вообще не могли бы принять к рассмотрению предлагаемый сценарий, т.к. на них налагалась бы обязанность построить 2351 больших атомных электростанций. Мировой банк, в перспективе, может выдавать займы в 3 млрд долл. (по курсу 1987 г.) на развитие электрификации этих стран [26], что составляет менее 5% от суммы в 64 млрд долл., которая потребовалась бы для них ежегодно. Это означало бы, что, для того, чтобы построить требуемые станции, общий текущий долг стран третьего мира, под бременем которого они находятся сегодня, должен удвоиться.

8.1.3. В будущем эмиссии углекислого газа по-прежнему будут увеличиваться

Несмотря на невозможность выполнения рассмотренного сценария наращивания атомной энергетики, предположим, что удалось его осуществить. Каков же будет эффект при решении основной проблемы относительно образования углекислого газа? Заметим, кстати, что глобальная эмиссия CO_2 продолжала бы при этом расти вплоть до 2000 г., достигнув 6,5 млрд т в год, а после этого срока или оставалась бы на сегодняшнем уровне, или несколько увеличивалась бы [27]. Это происходило бы в связи с проектируемым развитием нефтяной и газовой энергетики [28].

Исследования в других научных центрах привели к аналогичным заключениям. Например, недавнее аналитическое исследование, опубликованное Международным энергетическим агентством (IEA), рассмотрело сценарий обширного развертывания ядерной энергетики в странах ОЭСР. Цель этого исследования состояла в определении возможных в будущем уровней эмиссии углекислого газа. С применением аналитического программирования, разработанного IEA [29], сценарий предполагал увеличение производства ядерной энергии на 70% в течение двадцати лет. Таким образом, к 2010 г. все страны ОЭСР имели бы такое же обеспечение электрической энергией какое сегодня имеет Франция. Сейчас признано, что осуществить такой сценарий невозможно. Иключено, чтобы в странах ОЭСР удалось бы построить серию АЭС с суммарной мощностью 800 ГВт (эквивалентно 800 новым большим ядерным станциям с мощностью в 1000 МВт каждая, т.е., каждые 9 дней по одной новой станции за период до 2010 г.). Несмотря на такую невыносимо трудную программу, результирующий эффект для сохранения окружающей среды окажется минимальным. Соответственно, будет непрерывно расти количество выделяемого углекислого газа, и к 2005 г. оно будет только на 6,7% меньше, чем это имело бы место без выполнения ускоренной программы развития атомной энергетики. К 2050 г. концентрация CO_2 в атмосфере уменьшится всего лишь от 1 до 1,6% [30].

В итоге, считая, что требования к наращиванию производства энергии будут расти, окажется, что выполнение даже экстремальной программы создания глобальной ядерной энергетики не приведет к уменьшению выбросов CO_2 . Чтобы заменить одно только угольное топливо, потребуются сооружать новую атомную станцию каждые 2 или 3 дня приблизительно в течение четырех десятилетий. Но даже и в этом случае, в связи с ростом потребления нефти и натурального газа эмиссия двуокиси углерода поддерживалась бы на сегодняшнем уровне до тех пор, пока их запасы не истощились бы. Эти результаты вытекают из того простого факта, что в настоящее время ядерная энергия составляет всего лишь 5% потребляемой в мире энергии и пришлось бы увеличить ее производство во много раз. Кроме того, атомная энергия

сегодня используется только для генерации электричества, в то время как лишь одна треть всего используемого ископаемого топлива идет на производство электрической энергии. Таким образом, диапазон влияния ядерной энергетики на сокращение использования традиционных видов топлива существенно ограничен.

8.2. Ближайшее будущее: ядерная энергетика в сравнении с энергосберегающими технологиями

Мы видим теперь, что ядерная энергия не в состоянии разрешить проблему глобального потепления. Тем не менее, можно утверждать, что работа атомных электростанций сопровождается очень незначительными эмиссиями углекислого газа. Более того, они могли бы содействовать устранению выбросов CO_2 . Насколько эффективны они для выполнения этой задачи? Насколько сравним этот способ с другими, применяемыми с той же целью? Такого рода вопросы являются предметом рассмотрения в этом разделе, в котором детально суммируются ранее опубликованные результаты [31].

Двумя наиболее широко обсуждаемыми способами уменьшения выбросов углекислого газа в результате сжигания традиционных видов топлива на ближайшее будущее являются ядерная энергетика и повышение эффективности использования существующих энергосистем. В то время как атомная энергетика только вытесняет другие виды топлива, повышение КПД энергетических систем благоприятствует наиболее полному использованию различных видов топлива. Несмотря на большие достижения в области повышения КПД энергетических систем, резервы в этом направлении остаются огромными как для промышленно развитых, так и для развивающихся стран. Подробный анализ показывает, что при достаточном финансировании энергосберегающих технологий все страны к 2020 г. могли бы достичь жизненного уровня Западной Европы, повысив расход топлива всего лишь на 10% [32]. Обсуждение способов, способствующих повышению эффективности использования энергии и улучшению существующих технологий, приведено в главах 4 и 5.

8.2.1. Атомная энергетика в сравнении с энергосберегающими технологиями в Соединенных Штатах

Задавшись целью сократить эмиссии углекислого газа, естественно задать вопрос, какие капиталовложения более выгодны: в развитие атомной энергетики или в разработку и внедрение энергосберегаю-

щих технологий. Для проведения анализа рассмотрим частный случай замены только электростанций, работающих на угле, поскольку это та отрасль энергетики, где переход на ядерное топливо может оказать наибольшее влияние на уменьшение интенсивности выбросов двуокиси углерода в атмосферу. Исходные экономические данные, используемые здесь, отражают условия настоящего времени, а не те оптимистические оценки, которые были приняты в вышеизложенном сценарии. Мы воспользуемся данными по США, которые представляют собой частный случай, поскольку именно в США выбросы двуокиси углерода больше, чем во всех других странах. Кроме того, в США самая большая в мире программа развертывания атомной энергетики.

Сравнивая капиталовложения в разработки энергосберегающих технологий и в атомную энергетику, нам необходимо оценить текущую стоимость сэкономленной электроэнергии за счет повышения КПД и текущую стоимость электрической энергии, производимой на АЭС. Сегодня стоимость электроэнергии, производимой на новых АЭС в США, составляет около 13,5 центов за 1 кВт-ч (по курсу доллара 1987 г.). Это предполагает стоимость капитального строительства в 3000 долл. на каждый киловатт, что является усредненной величиной для 23 АЭС, построенных в период между 1984 и 1987 гг. [33]. Тем временем, было проведено большое число исследований, оценивающих стоимость работ по улучшению КПД и экономического потенциала генерируемой электроэнергии. Было рассмотрено несколько технологий, в том числе использование твердых балластов, ламп дневного света, усовершенствование холодильников, водонагревателей, двигателей и тому подобное. В то время как минимальная стоимость работ по повышению КПД это менее 1 цента на киловатт сэкономленной электрической энергии, усредненная стоимость мероприятий во всех областях работы над повышением КПД оценивается приблизительно в 2 цента на сэкономленный киловатт. Например, в лаборатории Лоуренса Беркли (Lawrence Berkaley Laboratory, LBL) и в Американском совете по энергетической эффективности в экономике (ACEEE) документально доказано, что средняя стоимость работ по сбережению электроэнергии составляет 2 цента на киловатт-час [34].

Исходя из задачи полного отказа от энергии, получаемой от сжигания угля, и рассматривая величины, обратные удельной стоимости энергии, т.е. сколько киловатт сэкономленной мощности приходится на затраченный доллар, мы получаем в итоге: 7,4 кВт-ч/долл. электроэнергии из ядерного топлива и 50 кВт-ч/долл. за счет энергосбережения, полученного с помощью новейших технологий. Таким образом, в настоящее время в США каждый доллар, вложенный в повышение КПД энергосистем, приблизительно в 7 раз эффективнее решает проблему вытеснения угольного топлива, чем доллар, вложенный в атомную энергетику. Сравнительная диаграмма приведена на рис. 8.2.

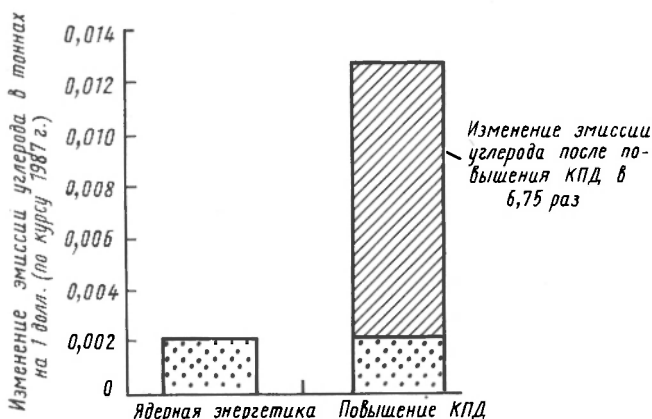


Рис. 8.2. Сравнение эффективности капиталовложений в атомную энергетику и в энергосбережение. Столбцы показывают эффективность сегодняшних инвестиций в атомную энергетику и в энергосбережение с точки зрения уменьшения эмиссии углерода от угольных электростанций в США. Заметим, что финансирование новых технологий повышения КПД примерно в семь раз эффективнее, чем эквивалентное финансирование новых АЭС. Аналогичные результаты получены и в других странах.

Некоторые критики в качестве аргумента ссылаются на то, что затраты, принятые для ядерной энергии, должны отражать не полную стоимость этой энергии, но лишь дополнительную ее часть, которая превышает затраты на энергию, производимую новыми угольными электростанциями [35]. Однако проводить сравнение по электроэнергетической эффективности было бы неправомерным, т.к. при этом подразумевается, что в обоих случаях инвестиции в угольную энергетику должны были бы быть одинаковыми. Одним из главных преимуществ повышения эффективности станций, работающих на угле, является возможность вообще избежать строительства большого числа таких станций. Таким образом, анализ сравнения полной стоимости решения проблемы вытеснения двумя способами электроэнергии, получаемой от сжигаемого угля, приводит к следующим результатам. Полная удельная стоимость снабжения необходимой электроэнергией составит 13,5 цента, если она поставляется от АЭС, и 2 цента, если она поставляется за счет новых энергосберегающих технологий.

Другими словами, полная стоимость киловатт-часа электроэнергии, полученного при замене существующих ТЭЦ на угле на АЭС, составит 13,5 цента, и только 2 цента, если заменить существующие электростанции на угле новыми энергосберегающими системами.

Полагая, что оба рассмотренных варианта равны по стоимости, мы с помощью проделанного анализа приходим к выводу, что выбор в пользу развития ядерной энергетики приводит к более значительному ущербу для окружающей среды. Результат анализа показан на рис. 8.2, где различие в высоте двух столбцов соответствует дополнительному выбросу углерода в атмосферу, который произойдет в случае инвести-

рования в атомную энергетику, а не в повышение энергетической эффективности [36]. Очевидно, что даже в этом случае защита окружающей среды с помощью развития АЭС обошлась бы дороже. Каждые 100 долл., вложенные в наращивание атомной энергетики, привели бы к выбросу в атмосферу одной тонны углерода, чего можно было бы с успехом избежать, если вместо этого вложить эту сумму в повышение эффективности использования электроэнергии [37].

8.2.2. Другие оценки

Вышеизложенные результаты базируются на современной стоимости атомной энергии и на величине затрат, необходимых на энергосбережение, т.е. повышение эффективности использования энергии. Однако одни исследователи доказывают, что увеличение эффективности производства электроэнергии может быть достигнуто и при меньших затратах, в то время как другие утверждают, что стоимость электроэнергии, вырабатываемой на АЭС, в будущем также резко снизится. Например, группа убежденных сторонников атомной энергетики из Совета по проблемам энергетики в США (USCEA) утверждает, что строительство стандартных АЭС, поддерживающих стабильное состояние окружающей среды, может снизить стоимость атомной электроэнергии до величины порядка 5 центов за кВт-ч [38]. Меньшее число сторонников строительства безопасных модульных газоохлаждаемых ядерных реакторов уверены, что электроэнергия, получаемая от таких систем, будет обходиться в 4,5 цента за кВт-ч [39].

Между тем, сторонники решения проблемы путем увеличения эффективности (КПД) из Института Рокки-Маунтин (RMI) убеждены, что реализация большого потенциального запаса в экономии электроэнергии позволит достичь стоимости 0,5 цента за киловатт-час и ниже [40]. К примеру, недавние исследования в США в области двигателей привели к заключению, что можно сберечь более половины всей электроэнергии, потребляемой в стране. Это связано с тем, что в приводных устройствах электрооборудования сосредоточено около 44% (плюс минус 16%) всей используемой в США электроэнергии при средней стоимости сэкономленной электроэнергии 0,49 центов за киловатт-час (плюс минус 0,14 цента за киловатт-час) [41]. Даже если эта оценка слишком оптимистична, ее можно увеличить вдвое или даже вчетверо, но и в этом случае усовершенствование электродвигателей даст возможность экономить до 2 центов за киловатт-час электроэнергии, что приблизительно равно стоимости всей электроэнергии, производимой атомной промышленностью США. Т.к. действительная стоимость энергии всех АЭС, работающих в США, превышает 2 цента за киловатт-час, то, в принципе, это наводит на мысль, что выгоднее прекратить дальнейшие работы по существующей программе развития ядер-

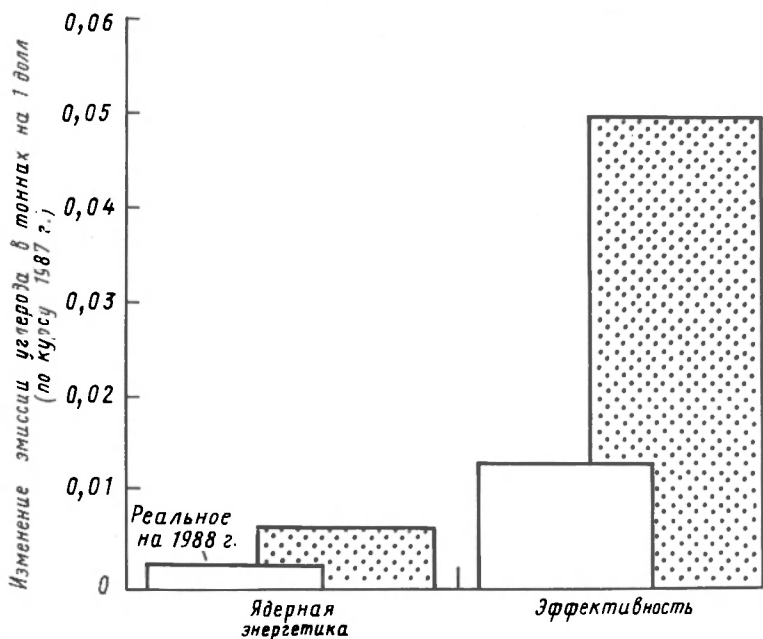


Рис. 8.3. Сравнение эффективности капиталовложений в атомную энергетику и в энергосбережение. Столбцы показывают эффективность сегодняшних инвестиций в атомную энергетику и в энергосбережение с точки зрения уменьшения эмиссий углерода от угольных электростанций. Приведенные данные показывают спектр оценок и прогнозов по современной литературе. Обращает на себя внимание, что во всех оценках энергосбережение более эффективно, чем атомная энергетика.

Примечание: данные соответствуют усредненным стоимостным оценкам из текущей литературы

ной энергетики и заменить ее на программу усовершенствования электродвигателей и приводных устройств.

Чтобы дать наглядное представление о разнице в экономической выгоде от обеих программ в будущем, на рис. 8.3 приведена диаграмма. Она иллюстрирует экономическую эффективность программ по величине снижения эмиссий углерода для широкого диапазона оценок стоимости. Данные, приведенные на рис. 8.3, взяты из неопубликованных текущих работ. Отметим, что для целей снижения эмиссии двуокси углерода всегда более выгодно идти путем повышения эффективности использования электроэнергии. Фактически, даже если предположить, что стоимость ядерной энергии будет 5 центов за киловатт-час, электрическая энергия, полученная за счет повышения энергетической эффективности, может обеспечить снижение выбросов углерода в 2,5–10 раз большее, чем ядерная энергетика на каждый вложенный доллар. Даже эти цифры могут оказаться заниженными. В соответствии с недавними исследованиями Института Уорлдвотч (Worldwatch), общая стоимость решения проблемы выбросов углерода

от угольных станций за счет ядерной энергии будет примерно в 32 раза выше, чем за счет повышения энергетической эффективности [42].

8.2.3. Сходные результаты в других странах

Вышеприведенный анализ сделан на основе ситуации в США. Подробные исследования для других стран не столь существенны, поскольку для большинства случаев главные выводы будут аналогичными. Для тех стран, где ядерная энергия дешевле, чем в США, отношение удельных стоимостей может оказаться меньше, хотя все еще в пользу энергосберегающих систем. Например, опубликованные в Объединенном Королевстве расчеты показывают, что финансирование компактных систем дневного света в 4 или 5 раз выгоднее по стоимости, чем атомная энергетика, для такого же уменьшения выбросов двуокси углерода [43]. Фактически, по данным Министерства энергетики Объединенного Королевства, очевидно, что решение проблемы существенного снижения выбросов углерода путем использования атомной энергии является одним из наиболее дорогостоящих [44]. Это подтверждается также и независимыми источниками [45]. Недавние исследования в Индии и в Бразилии показывают, при одинаковых допущениях, что затраты на усовершенствование энергетической эффективности осветительных систем в бытовом и коммерческом секторах в 4 или в 6 раз меньше стоимости систем электроэнергетики в обеих странах [46]. Подробное исследование для Бразилии привело к заключению, что капиталовложение в размере 8 млрд долл. в работы по повышению энергетической эффективности систем могло бы сэкономить для страны, по крайней мере, 38 млрд долл., т.к. удалось бы избежать строительства новых электростанций с суммарной мощностью в 19 ГВт [47].

8.3. Перспективы на будущее: атомная энергия в сравнении с возобновляемыми источниками энергии

Многие сторонники атомной энергетики признают, что повышение эффективности использования энергии существующих установок, может быть, самый результативный путь решения проблемы снижения выбросов углерода. Однако этот путь нельзя считать панацеей, и не столь существенно, как используется электроэнергия, а то, как она генерируется. Таким образом, некоторые уверены, что в будущем все равно потребуются производство атомной энергии. Нам вновь необходимо провести сравнение и определить, что для будущего более желательно: развитие технологий атомной энергии или внедрение возобновляемых источников энергии. Этому вопросу посвящен настоящий параграф.

8.3.1. Перспективы новых ядерных технологий

В настоящее время в атомной промышленности ведется разработка нового реактора на легкой воде, которому присуща чрезвычайная сложность конструкции [48]. Однако некоторые ученые предсказывают новую эру атомной энергии, когда атомная энергетика восстановит свои позиции, начав использовать совершенные и безопасные реакторы [49]. Исследования проводятся в нескольких направлениях. Наиболее продвинута разработка реакторов на легкой воде, соединяющих в себе как усовершенствование конструкции с целью уменьшения плотности энергии (за счет увеличения объема активной зоны реактора), так и создание новой безаварийной системы охлаждения. Однако желательно зону расплавленного топлива сделать как можно меньше. Некоторые разработчики надеются довести срок службы новых реакторов до шестидесяти лет, а КПД — до 87%. Одновременно они считают, что период разработки таких устройств займет четыре с половиной года, в то время как существующие конструкции далеки от достижения подобных целей [50].

Другим прототипом является модульный высокотемпературный газоохлаждаемый реактор (МГР), который использует небольшое количество окиси урана в качестве топлива, внедренного в графитовую оболочку и в другие материалы, замедляющие реакцию. Низкая плотность энергии позволила бы поддерживать температуру не выше 1600 град. С при любых обстоятельствах. Некоторые разработчики считают, что МГР не будет вызывать загрязнений и будет давать наиболее «чистую» энергию [51]. Другие авторы, между прочим, считают, что такие конструкции будут, в частности, удобны для производства трития, что увеличивает риск наращивания ядерного оружия [52].

Главное внимание при разработке «пассивно устойчивых» конструкций реакторов сосредоточено, прежде всего, на обеспечении безопасности режима работы и не учитывает многих других проблем, связанных с атомной энергией: такие, как размещение отходов ядерного горючего или опасность наращивания ядерных вооружений. Исследования, в первую очередь, должны быть сосредоточены на уменьшении риска, связанного с применением ядерного топлива, и, в особенности, с опасностью расплавления, т.е. нарушения режима охлаждения. В настоящее время не установлено, смогут ли новые конструкции реакторов с достаточной надежностью решить эту проблему. Согласно результатам, полученным Комиссией по атомной энергии Объединенного Королевства, некоторые новые конструкции реакторов могут иметь такую же предрасположенность к авариям, как и нынешние АЭС [53]. В журнале «Nucleonics Week» сказано: «Эксперты решительно утверждают, что безопасность новых конструкций пока еще не достигнута и в этом направлении нет даже существенного успеха» [54].

8.3.2. Ядерная энергетика в сравнении с технологиями возобновляемых источников

Существует широко распространенное мнение, что возобновляемые источники энергии не смогут внести существенной доли в общий запас энергии в обозримом будущем. Однако эта точка зрения основывается на уже устаревших данных. Развитие технологий использования возобновляемых источников энергии достигло головокружительного прогресса за последние несколько лет. Быстро развивается техника получения энергии за счет ветра. Стоимость электрической энергии, полученной от ветра, в США упала от 25 центов за киловатт-час в 1980 г. до 7-9 центов за последние 8 лет, сделав этот источник энергии конкурентоспособным для промежуточных или кратковременных потребителей энергии [55]. Министерство энергии Дании сообщило, что стоимость «ветровой» энергии достигла 5,3 цента за киловатт-час [56]. По сценарию, рассмотренному Министерством энергетики Соединенного Королевства, наиболее хорошо отражающему современную ситуацию, оказывается, что «ветровая» энергия может уменьшить эмиссию двуокиси углерода столь же успешно, как и атомная энергия к 2005 г., но при стоимости, в 4 раза меньшей [57].

Электроэнергия, генерируемая из биомассы, в настоящее время обходится приблизительно в 5 центов за киловатт-час. А коммерческое использование когенерационных технологий с применением биогенного газа, как ожидается, позволит получать в течение ближайших 5 лет электроэнергию из отходов сахарного производства стоимостью 3,3 цента за киловатт-час [58]. Информация о возможностях использования технологий возобновляемых источников энергии приведена в главе 6.

Электрическая энергия, получаемая от Солнца с помощью фотоэлектрических преобразователей, не потребует никаких движущихся механизмов и никакого топлива. Недавние достижения в области создания фотоэлектрических преобразователей оказались столь внушительными, что стоимость электроэнергии, полученной с их помощью из солнечного излучения, упала с 1,5 долл. на киловатт-час в 1980 г. до 20-40 центов на киловатт-час (в зависимости от конкретных типов преобразователей) [59]. Потенциальные возможности фотоэлектрических систем недавно изучались в Министерстве энергетики США (USDOE). Группа его экспертов, являющихся убежденными сторонниками солнечной энергии, пришла к следующему заключению: фотоэлектричество может быть эффективно использовано в различных районах США, в том числе в северо-восточных облачных районах. В подобного рода системах не требуется водяного охлаждения и, вопреки широко распространенному убеждению, потребности в земельных площадях на каждый производимый киловатт энергии очень близки к таковым при производстве энергии, основанном на сжигании угля и других горючих материалов [60]. Объем продажи фотоэлектрической

энергии растет на 30% в год. Ожидается, что стоимость электроэнергии, полученной с помощью фотоэлектрических преобразователей упадет до 4 центов за киловатт-час к 2030 г. или еще раньше [61] (В этом расчете учитывается также энергия, накопленная для расхода в ночное время.) Существует большая вероятность, что рост производства фотоэлектрической энергии будет не постепенным, а лавинообразным, когда цена ее достигнет 8 центов за 1 киловатт-час, а это может произойти уже к 2000 г. Таким образом, согласно оценкам USDOE, в конечном счете роль фотоэлектрической энергии окажется неизмеримо более значительной, чем считает большинство специалистов. Для США и для всего мира солнечная энергия может стать долгосрочным и удобным решением проблемы энергообеспечения и сохранения окружающей среды [62].

Критики такой оценки, сделанной USDOE, считают, что темпы строительства фотоэлектрической индустрии слишком незначительны для заметного снижения стоимости этого вида энергии. В то же время оптимистические оценки потенциальных возможностей солнечной энергии, сделанные в Принстонском университете и в Институте мировых ресурсов, предполагают, что дешевая солнечная электроэнергия может быть получена еще раньше [63]. На основе детальных исследований в лабораториях и на полигонах ученые Принстона сделали заключение, что уже к 2000 г. электроэнергия поточного тока, полученная из солнечной, будет стоить от 2 до 3,5 центов за киловатт-час.

Исследователи Принстонского университета проиллюстрировали сравнительные преимущества и недостатки фотоэлектрического и ядерного видов энергии. Достоинством атомной энергии, безусловно, является тот факт, что малое количество топлива обеспечивает производство большого количества энергии. Реакторы-размножители (бридеры), которые в настоящее время представляют наиболее эффективную ядерную технологию, производят 3800 кВт-ч электроэнергии при расходе всего лишь одного грамма урана. Но в то время как атом урана может быть использован только однократно, кремниевый фотопреобразователь может поглощать фотоны многократно и преобразовывать их энергию в электрическую. Солнечная батарея из аморфного кремния использует очень тонкие пленки кремния, толщиной приблизительно в один микрон, что соответствует трем граммам кремния на один квадратный метр поверхности фотоэлектрического преобразователя. Помимо большого срока службы, при КПД порядка 15% таких элементов, достаточно одного грамма кремния, чтобы генерировать 3300 кВт-ч энергии. Следовательно, расход одного грамма урана и одного грамма кремния производит вполне сравнимые количества электроэнергии, но запасы кремния в земной коре в 5000 раз превышают запасы урана. Кремний составляет примерно половину массы песчаной почвы, и электрическая энергия, которую можно производить, используя одну тонну песка, эквивалентна энергии, получаемой от сжигания 500 тыс. тонн угля [64].

Оценки, сделанные USDOE и Принстоном относительно потенциальных возможностей фотоэлектрической энергии, подводят нас к серьезному выводу о безусловных преимуществах фотоэлектрических преобразователей.

Обобщив все исследования, мы можем заключить, что стоимость электрической энергии, полученной путем фотоэлектрического преобразования, упадет до величины 4 центов за киловатт-час в период между 2000 и 2030 гг. В то время как более ранние технологии производства фотоэлектрических элементов были связаны с большим количеством токсичных отходов, широкомасштабное производство менее вредных солнечных кремниевых систем не принесет большого загрязнения окружающей среды, чем существующие электростанции, работающие на обычных видах топлива. Кроме того, ликвидация отработавших систем, использующих кремниевые преобразователи солнечной энергии, не вызовет серьезных проблем для окружающей среды [65]. Столь благоприятные перспективы для внедрения солнечной энергии были бы немыслимы еще несколько лет назад. Солнечная энергия может стать гораздо более привлекательной, чем ядерная, в сравнительно близком будущем.

8.3.3. Конец ядерной энергетике?

Некоторые исследователи полагают, что даже если мировая общественность потребует прекращения производства атомной энергии в сравнительно недалеком будущем, то все равно нет практической возможности осуществить это в тех странах, где широко развита атомная энергетика. Например, ссылаются на Швецию, где 50% электрической энергии генерируется на АЭС, а референдум потребовал прекращения их работы к 2010 г. Однако анализ электроэнергетики Швеции показывает, что не только есть возможность отказаться от ядерной энергии при сегодняшних потребностях в электроэнергии, но и в случае их увеличения на 50%.

Эта задача может быть выполнена путем капиталовложений в разработку технологии повышения конечного КПД и развития новых видов передачи энергии. Более того, средняя стоимость единицы потребляемой электроэнергии уменьшится на 18% за период между 1987 и 2010 гг., даже если средняя стоимость добываемой электроэнергии увеличится на 11% за то же время и фактическое потребление электроэнергии уменьшится на 25% по отношению к уровню 1987 г. [66].

Результаты анализа показывают, что возможно было бы уменьшить суммарный выброс углекислого газа от отопительных систем в Швеции на 34% за тот же период и достичь таких результатов, не увеличивая мощности гидростанций (эти требования диктуются условиями окружающей среды).

По-видимому, такие противоречивые результаты указывают на важность комплексного подхода при расчете спроса и предложения на энергию. Кроме того, они также показывают, что приоритет производственной составляющей, который доминирует в большинстве случаев при экономико-энергетическом планировании, может мешать разработке оптимальных вариантов энергетической стратегии. Во всяком случае, результаты, которые были получены при анализе развития энергетики в Швеции, в равной мере могут быть отнесены к любым странам.

8.3.4. Полные общественные затраты на атомную энергетику и на производство новых видов энергии

В будущем затраты на ликвидацию последствий загрязнения окружающей среды желательно включать в стоимость потребляемой энергии, полученной от различных источников. Первая попытка в этом направлении была сделана в недавней работе по изучению суммарной общественной стоимости генерируемой электроэнергии в Западной Германии [67]. В ней учитывались главные экономические эффекты, государственные субсидии, расходы на обслуживание, ущерб, наносимый окружающей среде, влияние на здоровье людей — т.е. те факторы, которые поддаются оценке в денежном исчислении. Были изучены четыре технологии генерирования электроэнергии из различных источников: традиционные виды топлива, ядерная энергия, фотоэлектрическая энергия и энергия, получаемая от ветра.

Основные результаты этой работы, представленные в финансовом выражении, следующие: общественная стоимость обычных ископаемых видов топлива (2,4–5,5 центов за киловатт-час) и ядерной энергии (6,1–13,1 центов за киловатт-час) оказалась примерно равной их рыночной стоимости. Так что общая стоимость для каждого из этих видов энергии оказалась равной удвоенной рыночной стоимости. С другой стороны, общественная стоимость двух новых видов энергии (солнечной и ветровой) оказывается значительно меньше и позволяет снизить налоги и повысить зарплату обслуживающему персоналу. Для энергии от ветра получаемый выигрыш составил от 0,3 до 0,6 центов за киловатт-час, а для фотоэлектрической — от 0,9 до 3,3 центов за киловатт-час. Если все внешние факторы будут учтены, то стоимость обоих этих видов энергии окажется существенно меньше, чем стоимость обычной и атомной энергии [68].

Вышеизложенные оценки являются только первоначальными, и некоторые из сделанных допущений весьма приблизительны [69]. И тем не менее, если подобные выводы будут подтверждены при более детальном и строгом анализе, это окажется мощным толчком для

финансирования новых приоритетных технологий и прекращения капиталовложений в атомную энергетику.

8.4. Нерешенные проблемы в ядерной энергетике

Согласно недавно высказанному убеждению Эдварда Теллера (Edward Teller), «Ядерная энергия безопасна, не загрязняет окружающую среду, и вопрос о хранении отходов ядерного горючего не является проблемой...» [70]. Однако, несмотря на незначительность углеродных и пылевых выбросов от атомных станций, проблемы в областях экологии, здравоохранения и техники безопасности продолжают преследовать эту отрасль. Большинство из этих вопросов хорошо известно и широко освещено в печати, поэтому здесь мы ограничиваемся только поверхностным описанием и используем результаты лишь недавних исследований.

Авария в Чернобыле в Советском Союзе, происшедшая 25 апреля 1986 г., привела к беспрецедентному радиоактивному загрязнению и по последствиям превзошла все известные техногенные катастрофы. Оцениваемая по количеству образовавшегося опасного радиоактивного изотопа цезия-137, эта авария эквивалентна взрыву большой атомной бомбы [72]. Даже на расстоянии более 1500 км от места взрыва в некоторых районах радиоактивность превысила те предельные величины, которые допускаются при испытаниях ядерного оружия в атмосфере. И хотя непосредственно от аварии умер только 31 человек, последствия этого бедствия таковы, что 28 тыс. человек неизбежно заболеют раком и 40 тыс. опухолью щитовидной железы, при этом около половины из заболевших проживают за пределами б.Советского Союза [73]. Чернобыль продемонстрировал, что значительные токсичные выбросы в атмосферу могут стать бедствием международного масштаба, к которому не готова ни одна страна. Во всем мире более 700 млн людей проживает на расстоянии менее 160 км от существующих АЭС [74]. Недавно была закончена работа экспертов из ФРГ, Франции и других стран, изучавшая все АЭС в Восточной Европе. Было установлено, что практически все станции не соответствуют существующим стандартам безопасности в западных странах и во многих случаях должны быть радикально переоборудованы или просто законсервированы [75]. Основываясь на анализе катастроф в Чернобыле и Тримайл Айленде, другие исследователи сделали вывод, что существует 70%-ная вероятность того, что произойдет новая авария такого масштаба в ближайшие 5-4 года [76]. Если это произойдет в странах третьего мира, то последствия могут быть значительно более тяжелыми, поскольку их инфраструктура и медицинское обслуживание не приспособлены к внезапным авариям такого масштаба.

Сегодня на земном шаре работает приблизительно 400 АЭС, но еще не существует ни одной долгосрочной программы, определяющей месторасположения для захоронения ядерных отходов [77]. Радиоактивные отходы продолжают равномерно накапливаться, и вокруг этой проблемы идут ожесточенные споры [78]. Существует мнение, что мы кончим тем же, чем кончило предыдущее поколение: оставим эту проблему на решение нашим детям [79]. В США долгосрочное захоронение ядерных отходов осуществляется в двух точках — это Нью-Мексико и Невада, но при этом приходится принимать во внимание как возрастающие технические трудности, так и протесты общественности. Полная стоимость осуществления защиты США от радиоактивных отходов оценивается в 150–200 млрд долл. в течение последующих 30 лет. В июле 1990 г. Министерство энергетики США заявило, что мероприятия по очистке от отходов ядерного топлива обойдутся в 28,6 млрд долл. в последующие 5 лет и таким образом на 50% превысят оценку, сделанную 8 месяцами раньше [80].

Воздействие радиоактивного излучения может быть более опасным, чем это представлялось ранее. Риск заболевания раком при низком уровне ионизирующего облучения повышается примерно в два раза, что следует из новых исследований данных, полученных в Хиросиме и Нагасаки [81]. Совсем недавно были получены тревожные результаты при обследовании случаев детской лейкемии вблизи города Селлафилд (бывший Виндскейл в Англии), где расположен завод по переработке ядерного топлива. Уже ранее было известно, что детская лейкемия неожиданно возросла в деревне Сискейл, где находится этот завод. Изучение окончательных данных показывает, что увеличение случаев лейкемии имеет определенную корреляцию с работой родителей на этом заводе [82]. Предполагается, что обычное слабое облучение отцов, происходящее во время работы, может увеличить риск заболевания детей лейкемией в 6–8 раз. Критики утверждают, что эти результаты могут быть чисто случайными или что они не могут служить доказательством наследственной лейкемии. Однако многие специалисты всерьез занялись проблемой, связанной с этим заболеванием.

Например, так как новые результаты находятся в противоречии с данными, полученными путем изучения последствий от взрывов бомб в Хиросиме и Нагасаки, возможно, что этим самым обнаружен неизвестный механизм генетической мутации, связанный либо с облучением родителей низкими уровнями радиации в течение месяцев, предшествующих зачатию, либо с проглатыванием ничтожных количеств радиоактивных веществ с пылью из воздуха [83]. В любом случае, в то время, как продолжают споры о значимости этого открытия и возможного его влияния на принятые стандарты допустимых норм облучения, по мере того как рабочие Селлафилда сталкиваются с трудностями при получении медицинской страховки, а молодежь задается вопросом, насколько для них безопасно заводить детей, в Англии нарастает общественное недовольство [84].

Главная проблема, связанная с наращиванием ядерной энергетики — это существенное увеличение риска распространения ядерного оружия. Ибо наличие энергетического ядерного реактора обеспечивает его владельца как необходимыми технологиями, так и материалами для создания ядерного оружия. Типичный реактор с водяным охлаждением и мощностью в 1000 МВт производит приблизительно 250 кг плутония в год, и этого достаточно для изготовления 25 атомных бомб [85]. (В выше описанном ядерном сценарии анализ показывает, что это позволило бы изготавливать 130 тыс. единиц ядерного оружия ежегодно, вплоть до 2025 г.). По мере того как тают надежды на крупномасштабные программы создания реакторов-размножителей, вопрос о том, что делать с вырабатываемым на АЭС плутонием, становится все более насущным. Франция и Великобритания в настоящее время работают над упрощением процесса регенерации, а Западная Германия и Япония — над конструкцией таких устройств. Как Франция, так и Великобритания имеют контракты на разработку регенерационных технологий для израсходованного топлива с несколькими странами, в том числе с Японией и Западной Германией. Такая деятельность ведет к увеличению риска, поскольку плутоний можно использовать для военных целей.

8.5. Заключение

В этой главе было рассмотрено несколько вопросов. Может ли ядерная энергетика предотвратить глобальное потепление? Является ли она тем средством, которое может уменьшить зависимость от ископаемых видов топлива? Решает ли ядерная энергетика проблему обеспечения энергией на длительный период? Разрешимы ли проблемы, связанные с применением атомных электростанций, и насколько очевидны пути их решения?

Ответы на все эти вопросы оказываются отрицательными. Во-первых, глобальное распространение атомной энергетики, даже в немыслимо грандиозных масштабах, не сможет в будущем ограничить рост выбросов в атмосферу двуокиси углерода, образующейся при сжигании ископаемых видов топлива. Следовательно, ядерная энергетика не решает задачи ликвидации угрозы парникового эффекта, вызываемого сжиганием традиционных видов топлива. Во-вторых, технологии, повышающие КПД систем, генерирующих энергию, имеют гораздо большие потенциальные возможности для уменьшения эмиссии двуокиси углерода, чем ядерная энергетика, при значительно меньших затратах. В-третьих, в перспективе использование возобновляемых источников энергии, таких, как ветер, солнце и биомасса, является причиной значительно меньшего загрязнения окружающей среды, а в экономическом отношении оказывается более дешевым. И, наконец, ядерная

энергетика таит в себе потенциальные беды для всего человечества и не гарантирует безопасности для здоровья и жизни людей.

Остающиеся отходы ядерного топлива создают беспрецедентные трудности, а потенциальные возможности наращивания ядерных вооружений еще более отягощают эту проблему. Кроме того, возможная взаимосвязь между длительным облучением слабыми дозами радиации, которому подвергаются рабочие на заводах, и увеличением числа детей, заболевших лейкемией, указывает на новую опасность, которую таит в себе ядерная энергетика.

Оценив все отрицательные стороны атомной энергетики, мы делаем вывод, что она не может быть тем средством, которое решит в будущем проблему энергетического обеспечения человеческой цивилизации. Учитывая существующие большие потенциальные возможности в сфере эффективности использования энергии и будущие возможности применения возобновляемых источников энергии, мы считаем маловероятным значительное развитие в будущем атомной энергетики, т.е. реакторов, работающих как на реакции деления, так и на реакции ядерного синтеза. В США уже сейчас возобновляемые источники производят большее количество энергии, чем ядерное топливо. При этом США занимают первое в мире место по производству атомной энергии [86]. Некоторые специалисты считают, что атомная энергетика должна играть только промежуточную роль в переходный период развития, до тех пор, пока экономический потенциал возобновляемых источников энергии не будет реализован. Возможно, что основная ее роль принадлежит прошлому, а не будущему. Развитие атомной энергетики достигло своего максимума, и во многих странах начинается ее сокращение. Возникающий дефицит энергии постепенно восполняется новыми технологиями повышения КПД и применением в промышленности возобновляемых источников энергии.

В то время как атомные реакторы будут выводиться из эксплуатации, генераторы, использующие возобновляемые источники энергии, могут их замещать. Единственно необходимыми являются значительные средства, которые должны быть затрачены на новые разработки в ближайшие десятилетия.

Сторонники ядерной энергетики пока еще надеются, что в будущем появятся конструкции безопасных реакторов, а также модульных малогабаритных реакторов. Кроме того, у них есть твердая уверенность в успехе получения управляемой реакции ядерного синтеза. Однако усилия в этих направлениях кажутся все менее необходимыми, поскольку, когда такие устройства будут разработаны (если вообще будут?), они могут оказаться ненужными. В самом деле, существующая сегодня технология производства фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии уже приблизила человечество к осуществлению тех целей, с которыми связывают достоинства атомной энергии: потенциал солнечной энергии ничем не ограничен, источником энергии является реакция ядерного синтеза (причем источник работает в самоподдерживающемся режиме на расстоянии 93 млн миль от Земли); процесс

производства энергии не сопровождается загрязнением среды, не нуждается ни в каком дополнительном топливе и является безопасным, при этом проблема промышленных отходов и техники безопасности относительно минимальные. Эта энергия может производиться на любых широтах земного шара, а электростанции могут размещаться на поверхности крыш, откуда энергия будет поступать к потребителю. Необходимое сырье (песок) и энергия (от Солнца) имеются в неограниченных количествах.

Пока остается проблема высокой стоимости производства, что, по утверждению ученых из Министерства энергетики США и Принстонского университета, не представляет серьезных трудностей. В то же время, электрическая энергия, получаемая из биомассы и от ветра, достигла стоимости ядерной электроэнергии, т.е. нескольких центов за киловатт-час.

Остаются три области, в которых необходимо преодолеть большие препятствия: размещение ядерных отходов, остановка атомных станций и предупреждение распространения материалов, пригодных для изготовления ядерного оружия. Хотя эти области исследований кажутся непривлекательными, будущие поколения неизбежно должны будут найти решения перечисленных вопросов. Сейчас на горизонте вырисовывается фантастическое будущее энергетики без использования ископаемых видов топлива и атомной энергии. Отказ от атомной энергетики стал жизненной необходимостью.

Глава 9

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА: ПОЗИЦИЯ «ГРИНПИС»

Джереми Леггетт (Jeremy Leggett)

«...Проблема глобального потепления климата имеет весьма интересную особенность, по крайней мере, для людей, отдающих себе отчет в ее серьезности — эта проблема имеет очевидное решение. При этом никто не отрицает, что достичь решения проблемы можно только тогда, когда в сознании и поведении людей наступит некий психологический перелом. Прежде всего, это касается межгосударственных отношений. Уровень международной кооперации, необходимый для предотвращения глобального потепления, пока не имел прецедентов в истории человечества. Выйти на этот уровень — вот основная наша цель на период 90-х годов. Нет ни одной задачи среди стоящих перед нами сейчас, которая могла бы сравниться по значению с этой...»

Глобальное потепление климата невозможно обсуждать вне проблемы загрязнения атмосферного воздуха в историческом контексте. Люди привыкли считать атмосферу чем-то вроде бездонного резервуара для выбросов загрязняющих веществ, и никто из нас не может точно предсказать, какие опасные последствия это может повлечь за собой в будущем (хотя сам факт опасности сомнений не вызывает).

9.1. Основы стратегии предупреждения

Многие читатели этой книги наверняка знакомы с длинной и печальной историей кислотных дождей на нашей планете. Эта форма

загрязнения, будучи уже предметом международных соглашений, тем не менее остается опасным фактором для окружающей среды [1]. Когда нефть и уголь начали сжигаться в огромных количествах на заре развития промышленности и транспорта, никто даже представить себе не мог, что выбросы окислов серы и азота могут привести к увеличению кислотности атмосферных осадков, со всеми последствиями, вроде деградации лесов, вымирания рыбы и опасности для здоровья человека. Но ведь даже когда ученые неопровержимо доказали связь кислотности осадков с промышленными выбросами, то деятели крупных промышленных корпораций делали все возможное, чтобы предотвратить принятие законодательных актов, ограничивающих объемы выбросов. Краткосрочные экономические интересы заставляют эти силы (а вместе с ними и многих представителей правительственных кругов) по-прежнему ставить палки в колеса природоохранного законодательства [2].

Очень похожа на предыдущую и история озоновых дыр. Химические компании долго настаивали на том, что деградация озонового слоя никак не связана с выбросами их продукции — фреонов. Причем так было не только тогда, когда механизм истощения озонового слоя за счет фреонов был всего лишь теорией [3], но и после 1985 г., когда открытие озоновых дыр поставило мир перед свершившимся фактом [4]. Только после того, как в 1986 г. ученые из NASA после изучения озоновой дыры над Антарктикой, подтвердили влияние фреонов на этот процесс, такие компании, как «ICI» и «DuPont», вынуждены были свернуть производство фреонов, дававшее годовой оборот в миллиард долларов [5]. Принимая во внимание тот факт, что фреоны — весьма долго живущие химические соединения, ученые настояли на законодательном прекращении и ровного производства фреонов [6]. Транснациональное химическое лобби оттягивало принятие этого соглашения так долго, как это им удавалось. Даже сегодня, когда соглашение по фреонам и некоторым другим веществам, истощающим озоновый слой, было принято, пусть с оговоркой о десятилетнем сроке, лобби продолжает добиваться исключения из этого соглашения таких, например, веществ, как метилхлороформ [7].

Вот уже много лет, как мы знаем, что от кислотных дождей гибнут леса, исчезает фауна водоемов, наносится ущерб всей живой природе. При этом мы, большей частью, сетуем на эти очевидные факты вместо того, чтобы заняться искоренением причин, их вызывающих. В последние несколько лет уже никто не сомневается, что фреоны и ряд других газов вредят жизни на Земле, повышая уровень ультрафиолетовой космической радиации на поверхность нашей планеты через громадные дыры в озоновом слое атмосферы — и, тем не менее, сиюминутные экономические интересы заслоняют от нас угрозу для окружающей среды в более отдаленном будущем. Теперь, когда угроза глобального потепления стала реальностью, часто высказывается справедливое мнение, что промышленная и прочая антропогенная деятельность ставит под сомнение возможность существования наших потомков на Земле и вообще человечества как вида. И все же, каким бы удивительным это ни казалось, мы вновь наблюдаем тот же порядок приоритетов, что принят

нами для кислотных дождей и озоновых дыр. И по-прежнему остро стоит вопрос о другой чаше весов, где по-прежнему прочно лежат сиюминутные экономические интересы нефтяных, химических, энергетических и других транснациональных корпораций, а также и правил, зажатых рамками устаревающих моделей развития. На нашей чаше — меры по сохранению бесценного капитала живой природы и окружающей среды для будущих поколений.

Именно в этом и заключается существо вопроса. Для организаций, подобных «Гринпис», интересы сохранения природной среды стоят выше многомиллиардных прибылей, выше понятия о свободе как свободе безнаказанного загрязнения при явном увеличении горы больничных листов в мировом масштабе. Наш идеал для *modus operandi* (*modus operandi* — образ действий (лат.). — *Прим. перев.*) «никакое вещество не должно выбрасываться в окружающую среду, если не доказана его безвредность» — может служить одним из принципов стратегии предупреждения. Мы не питаем иллюзий — нынешний мировой *modus operandi* пока что совершенно противоположен: «выбрасывайте в окружающую среду все, что угодно, особенно, если при этом растет валовой национальный продукт — до тех пор, пока вас не припрут к стенке доказательствами вредности ваших выбросов». Дело в том, что доказательства вредности часто появляются слишком поздно, либо содержат долю неопределенности, и это на руку алчным хозяевам источников загрязнений — это облегчает получение правительственных лицензий на выбросы.

Эти две противоположные философские концепции встанут во главу угла при обсуждении аспектов последствий парникового эффекта. Абсолютно точное доказательство вредности этих последствий для окружающей природной среды пока не найдено, причем совершенно точно известно, что когда оно будет найдено, то делать что-либо будет уже поздно. А пока — по убеждению главы администрации президента Буша Джона Зунуну (John Sununu) — попытки противодействия развитию парникового эффекта не только приведут к снижению прибылей нефтяных и химических ТНК, но и внесут в их стройные ряды экономический хаос, что пагубно отразится на сытости и благополучии всех нас.

Чтение Доклада «Гринпис» убеждает в том, что угрозы «экономической катастрофы» — если исходить из интересов населения нашей планеты — просто не существует. В этой заключительной главе я еще раз утверждаю, что у нас нет выбора — надо принять стратегию предупреждения, согласно которой эмиссии парниковых газов должны быть прекращены; сделать это — не означает заплатить за это нашей Землей, наоборот, это — единственный путь сохранить ее. Мало того, мероприятия по прекращению вредных выбросов в атмосферу, будучи категорическим императивом нашего времени, отнюдь не означают драматического снижения жизненного уровня, но могут сопровождаться сохранением уровня экономики в развитых странах, оживлением экономики в развивающихся странах — и тем самым обеспечить подьем качества жизни для всех, оставляя нашу атмосферу на прежнем уровне противодействия космической радиации.

Я поддерживаю ряд выводов, изложенных ниже выделенным шрифтом, приводя в каждом случае аргументы и примеры из настоящего Доклада «Гринпис». В заключение будут указаны недостатки рекомендаций IPCC (Межправительственной группы экспертов по проблемам изменений климата), представленных Рабочей группой IPCC по ответной стратегии (RSWG), и представлена концепция «Гринпис» по основным пунктам этих рекомендаций. Последняя часть главы посвящена роли отдельной личности в нашей общей борьбе против глобального потепления климата.

9.2. Реакция «Гринпис» на угрозу парникового эффекта

1. Перспективы безопасности окружающей среды в будущем не могут в настоящее время рассматриваться отдельно от угрозы глобального потепления климата. Предпринимать меры по предупреждению развития этого процесса необходимо уже сейчас, и люди, принимающие политические решения, должны отдавать себе отчет в том, что ожидание научных доказательств может окончиться тем, что предпринимать какие-либо меры будет уже поздно.

Влияние парниковых газов на способность атмосферы регулировать излучение хорошо известно и вытекает из законов физики [8]. Рост концентрации ПГ в атмосфере также не вызывает сомнений — этот факт основан на результатах измерений последних лет и исследованиях газового состава пузырьков воздуха в кернах древних отложений льда определенного возраста [9]. В настоящее время ученых интересует вопрос об уровне концентрации ПГ, после достижения которого начнется необратимый процесс потепления и других изменений климата в результате изменения реакции атмосферы на различные виды излучений в условиях сложнейшего механизма формирования климата Земли. Ученые, работающие в IPCC, предсказывают на основе расчета моделей климата, что увеличение температуры пойдет в десять раз быстрее и будет продолжаться более длительное время, чем это когда-либо имело место в течение последних ста тысяч лет. Стефен Шнайдер, Джордж Вудуэлл и Брайан Хантли [Stephen Schneider, George Woodwell, Brian Huntley] нарисовали в своих работах наглядную картину опустошения, которое может произойти на нашей планете, если мы допустим такие изменения климата.

Но ученые IPCC могут ошибаться, несмотря на то что это более трехсот наиболее известных исследователей климата, работающих в государственных учреждениях и университетах мира. По словам председателя Рабочей группы доктора Джона Хогтона (John Houghton), в создании Доклада IPCC принимали участие все сколь-нибудь серьезные специалисты по моделированию климата, и с выводами доклада не согласны «менее десятка оппонентов» [10]. Но таковы уж особенности моделей, что при их уровне неопределенности все они могут оказаться

неверными. Отклик климата на изменение радиационных характеристик атмосферы может оказаться менее значительным, чем предсказывается. По крайней мере один из известнейших климатологов, профессор Ричард Линдзен (Richard Lindzen) из Массачусетского технологического института, утверждает, что так оно и может быть. (См. главу С. Шнайдера о научных основах моделирования климата и критику идей Р. Линдзена в этой главе).

Стоит ли вообще обращать внимание на столь малую вероятность? Если абсолютное большинство ученых мира предсказывают катастрофу в том случае, если уже сейчас не будут приняты соответствующие меры по ограничению эмиссий ПГ, то стоит ли рисковать благополучием наших детей и внуков на том лишь основании, что любой расчет допускает неопределенность? А когда мы слышим, что сами ученые-климатологи говорят о возможности собственных недочетов в связи с обстоятельствами, подробно описанными в этой книге (см. например, статьи С. Шнайдера, Дж. Вудуэлла и Дж. Леггетта) — тем более, разве это не аргумент в пользу того, что надо уже сейчас принимать меры?

Следует иметь в виду, что даже в том случае, если ученые ошибаются в своих предсказаниях последствий беспрецедентного и опасного процесса изменений климата Земли, то мы своими действиями во всяком случае сможем искоренить выпадение кислотных дождей, прекратить образование ядовитого фотохимического смога, решить массу связанных с этими явлениями проблем охраны здоровья, а также существенно облегчить дальнейшую борьбу с такими опасными издержками промышленного развития, как нефтяные пятна в морях и т. п.

Те же, кто придерживается точки зрения типа «нет правильных моделей», должны, по крайней мере, отдавать себе отчет в том, что существует множество принципиальных различий между моделями экономического развития и моделями, построенными на основе непреложных законов физики. И если уж эти люди все-таки предпочитают цепляться за застарелую привычку бездумного расточительства энергии в мировом масштабе, то им следует подумать хотя бы о такой мудрой вещи, как страхование. Никто, повторяю — никто в наше время не станет отрицать, что мир стоит на пороге экологического бедствия, так или иначе связанного с развитием парникового эффекта. Те же, кто предпочитают игнорировать эти перспективы, сознательно ставят под угрозу безопасное существование будущих поколений.

Люди, как правило, заключают массу различных договоров страхования на себя и своих близких, имея в виду случайное возникновение неблагоприятных обстоятельств где-то в отдаленном будущем, например крушение самолета или что-нибудь в этом роде. Так почему же тем же людям (и, конечно, правительствам) не прислушаться к голосу ученых, отдавших исследованию этого вопроса огромное количество сил и средств и исходящих в своих прогнозах из оценки уже существующей ситуации? В противном случае это будет выглядеть как преступное нежелание застраховать собственных детей и внуков от опасности гораздо более вероятной, чем случайная авиакатастрофа.

2. Главные корни решения проблемы выживания в условиях развивающегося парникового эффекта лежат в области эффективного энергопотребления, использования возобновляемых источников энергии, немедленного и полного прекращения производства всех фреонов и других газов аналогичного воздействия на атмосферу, развития сельского хозяйства по схемам, уменьшающим образование парниковых газов, сохранения существующих лесных массивов и посадки новых.

Все это становится очевидным при выяснении основных источников ПГ — различных областей деятельности человека (см. главу 1). Более половины мирового объема выбросов ПГ связаны с производством энергии, а именно, с добычей, транспортировкой, переработкой и сжиганием ископаемых органических топлив — угля, нефти и газа. Согласно исследованиям Жозе Голдемберга, Эмори Лавинса, Майкла Уолша, Билла Кипина, а также Биргит Бодлунд с коллегами, мир относится к этим источникам энергии как к неисчерпаемой кладовой с самых первых шагов промышленной добычи энергии и тратит ее направо и налево. Этими исследователями доказывается, что у нас есть возможности для энергосбережения в будущем, и имя им легион.

Но, как бы ни выступали защитники окружающей среды против сжигания органического топлива, энергию все-таки как-то надо добывать. Здесь лежит один из путей изменения парадигм мирового сознания, связанных с достижением будущего без угрозы парникового эффекта. Как отмечают в своих главах Билл Кипин и Карло Лапорта, существуют множество способов добычи энергии помимо сжигания органического топлива и ядерно-энергетического цикла. Это прежде всего использование возобновляемых источников — то есть источников энергии, используемых практически вечно и не выбрасывающих в атмосферу углекислого газа. Даже если с помощью этих источников нам не удастся приостановить развитие процесса глобального потепления в ближайшем будущем, то будущее все равно за этими способами, так как они связаны с использованием новейших технологий и приносят большой экономический выигрыш в расчете на стоимость киловатт-часа потребляемой энергии (и это при включении в расчет стоимости исследовательских и опытно-конструкторских работ). Для развития этих способов не требуется агитации экологического характера, хотя ясно, что их использование работает на снижение опасности парникового эффекта.

Даже если бы такая проблема, как глобальное потепление, и не стояла бы перед нами во всей своей впечатляющей полноте, а фреоны не относились бы к ПГ, то и в этом случае необходимость их полного исключения из мирового производства не вызывает никаких сомнений — губительная ультрафиолетовая радиация космоса, проникающая к земной поверхности через дыры в озоновом слое, постепенно убила бы все живое на нашей планете. Но поскольку фреоны — весьма активные парниковые газы, работающие на парниковый эффект в тысячи раз активнее, чем двуокись углерода [11], то их исключение из производства тем более категорически необходимо. При этом важно помнить, что вещества, которые предлагаются химическими концернами для замены

фреонов — гидрофторуглероды и гидрохлорфторуглероды — также относятся к ПГ, что всячески скрывается при их рекламировании [12].

Около 14% от общего объема эмиссий ПГ можно отнести сегодня на счет сельского хозяйства. К ним относятся выделение метана при силосовании и на рисовых плантациях и выбросы окислов азота при использовании химических удобрений. Этот процент, скорее всего, будет возрастать с ростом численности населения Земли. При этом существуют способы ведения хозяйства, при которых эмиссии метана и NO_x заметно сокращаются. К этому же результату ведет использование неинтенсивных технологий в сельском хозяйстве. В принципе мы можем обеспечить себе сытое будущее, не закладывая его сейчас в ломбард. Этой же цели служат меры по контролю численности мирового населения.

Весьма заметный вклад сведения лесных массивов в нарастание парникового эффекта общеизвестен. Можно спорить о количественных оценках объемов выбросов углекислого газа по отдельным странам, но последствия уничтожения лесов сомнений ни у кого не вызывают. Если бы человечеству удалось приостановить этот процесс, то это был бы весьма и весьма весомый вклад в дело преодоления нарастающих процессов глобального потепления климата.

Прописные истины: горящее дерево выделяет углекислый газ, живое дерево поглощает его в процессе фотосинтеза. Если в достаточных количествах сажать новые леса, то можно добиться снижения средних концентраций двуокиси углерода в атмосфере.

3. Мировое сообщество должно прийти к «энергосберегающему» будущему в соответствии со сценарием, разработанным в Глобальном проекте по конечному использованию энергии (EUGEP), при этом оценка суммарного мирового энергопотребления к 2025 г. выразится величиной 12 ТВт (тераватт). При этом мировое распределение энергопотребления должно быть более уравновешено по сравнению с нынешними пропорциями. В настоящее время потребляемые в мире 10 ТВт энергии весьма неравномерно распределены между развивающимися странами и странами с высоким уровнем промышленного производства.

Жозе Голдемберг и Томас Йоханссон, принадлежащие к четверке ведущих мировых специалистов по планированию и проведению энергетической политики, опубликовали в 1988 г. исследование о перспективах мирового энергопотребления. Это исследование, названное «Энергетика стабильного мира», явилось результатом выполнения долговременной научной программы — Глобального проекта по конечному использованию энергии (EUGEP). В настоящее время эта работа широко признана как классический образец в области энергетической политики [13]. Авторы исследования намечают пути, с помощью которых можно добиться удовлетворения разумных энергетических потребностей при условии продолжения поступательного промышленного развития мира и одновременном с ним же и удельного энергопотребления на душу населения в мировом масштабе в интересах стабилизации состояния окружающей среды.

Более двух третей населения земного шара, живущее в развивающихся странах, потребляет всего лишь 30% от мирового объема энергии. Другими словами, на долю жителя отсталой страны приходится почти в 10 раз меньше энергии, чем, скажем, на долю гражданина США. Если правительства развивающихся стран будут по-прежнему ставить во главу угла концепции развития достижение уровня промышленно развитых стран, то в отношении энергопотребления это может привести к катастрофическим экологическим последствиям для мира в целом. К счастью, во многих случаях это не так. Голдемберг и его коллеги подсчитали, что при условии активного использования современных энергосберегающих технологий фатальной прямой связи между жизненным стандартом и удельным энергопотреблением более не существует. Уровень жизни в Западной Европе 70-х годов может быть достигнут в мировом масштабе при удельном энергопотреблении порядка 1 кВт на душу населения. Отсюда и оценка — 12 ТВт энергии для семимиллиардного населения Земли к 2020 г. Это всего лишь на 20% выше оценки потребности в энергии, сделанной на тот же период времени службой прогноза Мирового банка реконструкции и развития (МБРР) [14].

Эти цифры — прообраз будущего, к которому человечество должно стремиться, объединяя усилия для его достижения. Альтернативы просто нет.

4. Упомянутый уровень энергопотребления может быть достигнут в результате активного капиталовложения в энергосберегающие технологии в индустриально развитых странах и широкомасштабных поставок этих технологий (вместе с технологиями, исключаящими производство фреонов) в развивающиеся страны. Такая политика поможет третьему миру «перепрыгнуть» через этап активного загрязнения окружающей среды, сопровождающего бурный экономический рост.

Такая модель мира предполагает радикальное изменение наших взглядов на технологии как таковые. В настоящее время новая технология — это товар, который строжайшим образом патентуется, защищается от широкого использования и продается на рынке по максимальным ценам. При этом, отмечают Сьюзен Джордж и Килапарти Рамакришна (Kilaparti Ramakrishna), коммерческий подход должен быть отвергнут как представляющий опасность для человечества в целом. Если богатые страны будут продолжать политику наводнения третьего мира устаревшими и чрезвычайно энергоемкими технологиями, то проблема глобального потепления климата никогда не будет решена. Яркий пример такого рода отношений — Китай. Имея подтвержденные запасы угля и нефти на уровне 730 млрд т (кстати, хорошая цифра для сравнения — примерно столько же углерода в форме двуокиси находится сейчас в атмосфере Земли — см. главу 1), получая 76% своей энергии от сжигания угля при миллиардном населении, Китай ставит задачу иметь холодильник в каждой семье. Представьте, что будет в начале следующего тысячелетия, и какой вклад в общий объем выбросов CO₂ внесет эта страна. Вспомним о фреонах — больше холодильников, больше утечек. Экономическая ситуация в стране не позволила решать эту

задачу с использованием новейших технологий производства холодильников. При китайских масштабах производства это решение потребует строительства 30 станций мощностью по 1 ГВт каждая, хотя, как подсчитано, при использовании новейших технологий хватило бы и трех [15]. Девяносто процентов экономии ! Но для осуществления такой возможности требуется пересмотр основ политики экспорта технологий промышленно развитыми странами.

Пример с китайскими холодильниками только чуть-чуть затрагивает поверхность понятия «новая экономика», которое описывает Сьюзен Джордж. Мы вновь сталкиваемся с проблемой изменения основных парадигм мирового сознания.

В главе книги, написанной Жозе Голдембергом, утверждается, что пересмотр политики технологического экспорта в бедные страны представляется жизненной необходимостью для мира в целом. Приводятся доказательства того, что это потребует не столь уж больших затрат, а именно — затраты на создание мирового страхового фонда и дополнительное налогообложение каждого барреля потребляемой сырой нефти на 1 доллар. Таким образом создастся капитал, который будет работать на предотвращение опасного развития парникового эффекта во всех областях человеческой деятельности.

5. Структура вложений финансов и ресурсов в ближайшем будущем должна быть такой, чтобы максимально способствовать получению энергии из возобновляемых источников в мировом масштабе.

Что ожидает ископаемое органическое топливо в будущем? Вот цитата из выступления бывшего президента компании «Shell Oil Company»: «...мировая потребность в энергии заставит увеличить добычу ископаемого топлива на 50% в ближайшие 40 лет... а по истечении этого срока начнет увеличиваться разрыв между мировой потребностью и ресурсами органического топлива в мире» [16]. Это слова человека, который никогда не принимал в расчет воздействие двуокиси углерода на радиационные характеристики атмосферы.

У организации «Гринпис» несколько иной взгляд на эту проблему. Мы полагаем, что следует стремиться к полному отказу от сжигания ископаемых органических веществ, и достичь этого надо как можно скорее. Необходимость такого пути диктуется не только соображениями о глобальном потеплении, но и о повышении кислотности воды в мировом круговороте, и о тех загрязнениях, о которых говорит в нашей книге Майкл Уолш, рассматривая проблему автотранспорта.

Может быть, но только в существующих временных ограничениях. Придет время, когда наша точка зрения превратится в прописную истину.

Как же удовлетворить растущие энергетические аппетиты мирового сообщества? Решение этой проблемы вполне достижимо во временных рамках ближайшего столетия — в мире, где энергопотребление будет гораздо менее интенсивно, чем сейчас, и за счет возобновляемых источников энергии. Это наша декларация, а не беспочвенные фантазии. В своей статье Карло ЛаПорта описывает экономические и технологические перспективы использования возобновляемых источников

энергии. Тем не менее, в настоящее время исследованиям проблемы возобновляемых источников уделяется гораздо меньше внимания и средств по сравнению с процессами сжигания органики и ядерно-энергетическим циклом [17]. Есть все основания утверждать, что деятели топливно-энергетической и ядерно-энергетической отраслей вкупе со своим лобби в законодательных структурах делали и делают все возможное для сдерживания развития технологий использования возобновляемых источников энергии [18].

Многие эксперты поговаривают о грядущей «точке взрыва» для развития этих источников, когда об их преимуществах будут говорить исключительно в понятиях рыночной выгоды по сравнению с дорогостоящими ископаемыми органическими видами топлива. Все, что необходимо делать сейчас — это приближать эту «точку взрыва» всеми доступными средствами, в том числе принятием законодательных актов, способствующих развитию этих форм энергодобычи и вложением средств и сил в исследования, необходимость которых диктуется здравым смыслом, а не сиюминутными экономическими интересами нефтяных и ядерно-энергетических компаний.

6. Расширение деятельности атомно-энергетического сектора, включающее работы по выводу из эксплуатации отработавших энергоблоков — такое решение проблемы парникового эффекта обойдется слишком дорого в финансовом отношении, не говоря уже о неотъемлемых проблемах безопасности, захоронения радиоактивных отходов и нераспространения ядерного оружия. Такое решение не должно ставиться во главу угла при планировании политики преодоления процессов развития глобального потепления климата.

На первый взгляд представляется вполне разумным повсеместная замена ТЭС на АЭС и, тем самым, снижение выбросов ПГ в мировом масштабе при сохранении уровня поставок энергии. В конце концов, АЭС действительно не увеличивают (прямо) объема выбросов парниковых газов. (Не следует при этом забывать, что эти выбросы присутствуют на разных стадиях атомно-энергетического цикла, начиная от добычи и обогащения урановых руд). Но при внимательном анализе, сделанном в этой книге Биллом Кипином, только экономические соображения (без учета экологических издержек) полностью исключают ядерно-энергетическое решение из политики преодоления угрозы парникового эффекта. Если задаться целью остановить все ТЭС в мире, то надо строить тысячи новых АЭС — по одной за несколько дней в течение ближайших тридцати лет — силами промышленности, которая только в США и только за последние 16 лет получила отказы на строительство более сотни реакторов и которая тратит по 10-12 лет на строительство одной атомной электростанции.

Даже несмотря на это, решение проблемы с помощью АЭС не имеет смысла. В США средние цены на электричество, генерируемое АЭС, составляют 13,5 цента за киловатт-час (по курсу доллара 1987 г.). По сравнению со стоимостью электроэнергии за счет мер по экономии (2 цента и ниже за киловатт-час) это слишком дорого для потребителя. В понятиях проблемы глобального потепления доллар, вложенный в

энергосбережение, устраняет в семь раз больше двуокиси углерода, чем доллар, вложенный в ядерную энергетику.

В конце концов, никому не удастся бесконечно сдерживать потенциал эффективного энергопотребления. Энергию-то надо, повторим, где-то добывать. И здесь возобновляемые источники бьют атомную энергетику по всем статьям. Билл Кипин доказывает, что уже сейчас имеется целый ряд технологий, позволяющих добывать электроэнергию по цене 3–9 цента за киловатт-час. Резкое снижение себестоимости солнечных батарей в ближайшем будущем — от нынешнего уровня в 20–40 центов за киловатт-час до 10 центов за киловатт-час в начале нового тысячелетия — полностью исключит электроэнергию от АЭС из списка конкурентоспособных товаров. Это случится даже в том случае, если энергия АЭС вдруг резко подешевеет (а если и так, то только на некоторое время, так как впоследствии решение проблем вывода реакторов и захоронения отходов возьмет свое).

Биргит Бодлунд с коллегами представляет детальную аргументацию, подтверждающую расчеты и выводы Билла Кипина. Швеция известна как страна с самой мощной ядерной энергетикой в мире в расчете на душу населения. Половина шведской электроэнергии поставляется АЭС. При этом референдум 1980 г. показал, что шведы выступают за исключение атомной энергетики из национальной экономики. Б.Бодлунд представлено изложение шведского плана в области энергетики, подготовленного Государственным комитетом по энергетике и учеными из университета Лунда. План предполагает решение шведской энергетической проблемы без введения в гидроэнергосеть четырех шведских рек, остающихся свободными от ГЭС и при условии выполнения задачи, поставленной перед правительством в результате референдума. При этом предусматривается прекращение выбросов углекислого газа, связанных с производством электроэнергии и функционированием систем коммунального отопления. План предписывает неукоснительную поддержку энергосберегающих технологий и использование возобновляемых источников энергии, в особенности биомассы. Подсчитано, что сохранение темпов роста национальной экономики на уровне 1,9% в год до 2010 г. (проект Министерства финансов) может быть обеспечено при снижении потребности в электроэнергии на 25%. Необходимый процент внедрения новых технологий потребует затрат на 500 млн долл. м е н ь ш е , чем сохранение привычных технологических решений, нацеленных, в основном, на получение энергии за счет ископаемых органических видов топлива.

Спустя короткое время после публикации этого исследования в Швеции шведский Государственный комитет по энергетике начал осуществление программы по финансированию улучшения работы генераторов энергии за счет биомассы (более 300 млн долл.).

Единственное чудо, остающееся пока в изрядно поредевшем наборе ядерно-энергетического рая — это тот факт, что еще остаются люди, не замечающие неприемлемость АЭС в энергетическом будущем человечества как по экономическим, так и по этическим соображениям.

7. Подробно проработанный набор политических решений и их количественная оценка должны стать предметом исследований ученых в последнее десятилетие XX века, но первыми шагами обязательно должны стать следующие:

- * немедленное сокращение объемов выбросов углекислого газа и разработка интегрированных стратегий, полностью исключающих ископаемую органику из топливной энергетики в ближайшие сто лет;

- * значительные усилия против сведения лесных массивов и производства фреонов и связанных с ними веществ вроде гидрофторуглеродов.

Наша цель ясно определена — это стабилизация концентраций ПГ в атмосфере на современном уровне. Но даже это простое положение несет оттенок неопределенности. Насколько нам надо снизить объемы выбросов, чтобы добиться этого? Ученые IPCC полагают, что в отношении двуокиси углерода (современная концентрация 353 ppm) необходимо немедленное снижение объемов эмиссий на 60%. Эта цифра, похоже, недостижима, хотя сокращение объемов сжигаемого топлива вдвое представляется вполне реальной перспективой. Какова же цель?

Исследования Мика Келли на климатических моделях показывают, что даже если нам удастся прекратить сведение лесных массивов до конца века, засадить лесом 200 млн га до 2020 г., исключить из производства фреон и связанные с ним химические соединения к 1995 г., снизить интенсивность эмиссии метана и NOx из сельскохозяйственного сектора, нам все равно придется изыскивать возможность для снижения выбросов двуокиси углерода на 70% для поддержания концентраций ПГ в атмосфере на безопасном уровне в первой половине будущего столетия. Если модель Келли правильна, то возможна стабилизация концентрации ПГ в атмосфере на уровне 445 ppm в эквиваленте двуокиси углерода — уровень, всего лишь на 8% превышающий современный.

Это лишь один из примеров возможного комплекса мер для проведения его в жизнь в ближайшие несколько десятилетий. Естественно, любой из избранных комплексов мер при его осуществлении в жизнь должен быть под постоянным контролем и модифицироваться в зависимости от поступления новых данных. В настоящее время главной задачей представляется следующее: надо добиться, чтобы все страны мира приняли основные положения стратегии будущих действий. «Гринпис» считает, что исключение органических ископаемых видов топлива из энергетического цикла — главная цель на период до 2000 г. Сопутствующими целями являются следующие: прекращение сведения лесных массивов и исключение из производства всех видов фреонов. Все это вместе направлено на стабилизацию концентрации ПГ в атмосфере.

Узкие места научных прогнозов, связанные с неопределенностью решения, могут сами по себе стать предметом скрупулезного научного исследования. Среди приоритетов на будущее обязательно должен присутствовать приоритет международных проектов научных исследований и мониторинга. Но это не должно быть продолжением чисто политических акций, как это сейчас представляется многим из правительственных кругов разных стран. Ученые вполне в состоянии снять ряд неопре-

деленностей существующих моделей — для этого нужно время. Как отмечается в докладе ИРСС, «сложность проблемы и масштабы научных программ, направленных на ее решение, не позволяют ожидать всех результатов слишком скоро. При этом важно помнить, что открывающиеся в процессе исследования непредвиденные вопросы и области нашей неосведомленности также требуют решения и расширения наших знаний» [19]. Руководитель исследовательской группы по проблемам климата, профессор Сюкуру Манабе (Suuyukuro Manabe) из Принстонского университета, выступая на конференции Американской ассоциации за развитие науки в 1990 г., выразил эту мысль более выпукло: «Мы не стремимся к созданию совершенной модели, поскольку даже если мы ее случайно получим, то у нас не будет возможности доказать это» [20].

8. Огромные суммы, требующиеся в период 90-х годов для проведения в жизнь мер, направленных на предотвращение глобального потепления и для расширения научных исследований с целью снижения степени неопределенности моделей, могут быть получены за счет сокращения военных расходов, составляющих в мире ежегодно около 1000 млрд долл. Сокращение это вполне реально в свете новых направлений в геополитике, возникших в конце 80-х годов.

Мир тратит на оружие триллион долларов в год. Только в США военные расходы составляют 300 млрд долл./год. Примерно столько же тратит и б.Советский Союз [21]. Как указывает в своей главе С. Шнайдер, оценки стоимости мер по преодолению парникового эффекта дают сумму в три триллиона долларов в течение ближайшего столетия. Даже если эти цифры правильны, то мир потратит на вооружения в сто раз больше (если считать, что существующие военные доктрины не претерпят серьезных изменений в ХХI веке). Но правильность оценки затрат на стратегию преодоления оспаривается тем же Шнайдером в той же главе — затраты могут быть существенно ниже. Даже если в ближайшее десятилетие концепции безопасности не изменятся в сознании маленького сообщества людей, контролирующего мировое производство вооружений, то они изменятся — безусловно, уже меняются — в сознании большинства населения земного шара [22]. В конце концов, три триллиона долларов за сто лет — не такая уж большая плата за снятие угрозы всемирной экологической катастрофы.

В наше время уже многие считают, что нынешние объемы военных расходов — это анахронизм, тем более при наличии реальной угрозы экологических бедствий. Нам есть на что тратить деньги! Всего три миллиарда долларов требуется для проведения комплекса мер по сохранению тропических лесов в бассейне Амазонки (оценка 1989 г.) [23]. Это стоимость шести бомбардировщиков «Стелт». Неужели с ними мы будем в большей безопасности, чем без лесов Амазонки? А ведь таким образом можно разом снизить выбросы ПГ на несколько процентов — достаточно только помочь народу Бразилии обходиться без дров. В результате такой «альтруистической» акции выиграет все население Земли!

Трудно поверить, что по-прежнему высокая оценка «военной угрозы» продержится достаточно долго, чтобы поддерживать нынешние

уровни военных бюджетов стран ОЭСР и Восточного блока. Эти страны должны пройти через смену парадигм от военной безопасности в 80-х годах к безопасности экологической в 90-х, что отразится, в первую очередь, на структуре государственного бюджета. Комиссия ООН по окружающей среде и развитию (ЮНЕП) отмечает в своем документе (доклад Брундтланд), что «недавняя гибель большей части продукции сельского хозяйства ряда африканских стран в результате засухи принесла больший ущерб, чем это могла бы сделать армия агрессора, проводящая тактику «выжженной земли». И, тем не менее, правительства ряда африканских стран продолжают тратить деньги на защиту населения от вторжения армий захватчиков, словно бы забывая о реальном наступлении такого «внешнего врага», как пустыня.» Перейдя от закупок вооружений к «мирному дивиденду» по примеру богатого Севера, правительства третьего мира найдут массу применений освободившимся средствам, направляемым на увеличение валового национального продукта.

9.3. IPCC — «Гринпис»: сопоставление взглядов на будущее

В деятельности Межправительственной группы экспертов по проблеме изменений климата (IPCC) ведущую роль в формировании рекомендаций для политиков по преодолению последствий глобального потепления сыграла Рабочая группа по ответной стратегии (Рабочая группа 3), называемая RSWG, или «группа делающих политику». В своем окончательном докладе [24], завершенном в июле 1990 г., «делающие политику» предпочли обойти или просто игнорировать выводы другой Рабочей группы того же объединения, а именно Рабочей группы ученых (Рабочая группа 1), изложенные в соответствующем окончательном докладе, завершенном в мае того же года.

Доклад ученых, если говорить простыми словами, оценивает ситуацию так: неизбежные неопределенности моделей не касаются однозначных выводов о том, что антропогенный парниковый эффект неблагоприятен для человечества; вопрос стоит лишь о степени вредности и сроках начала неблагоприятных изменений. Совершенно однозначно делается вывод о том, что при сохранении существующего положения вещей в мировой экономике, то есть при продолжении практики выбросов ПГ на современном уровне, глобальное потепление климата неизбежно. Неопределенность касается только вопроса о том, каковы будут количественные характеристики потепления. Влияние неопределенностей работает как в ту, так и в другую сторону, а в каждой конкретной модели климатической системы их не так уж и много, и все они связаны с грубым приближением к действительным природным процессам. Положительные связи в развитии процесса глобального потепления — снижение степени поглощения двуокси углерода океанами, повышение активности газообмена в микробных биоценозах нагрее-

вающейся почвы, истощение атмосферных резервуаров гидроксила, повышение эмиссии метана из заболоченных областей, образование гидратов — все эти положительные связи могут возобладать над отрицательными, которые отдалают начало необратимых процессов потепления. Это означает (и в докладе об этом четко сказано), что наиболее достоверные результаты расчетов компьютерных моделей климата (повышение средней температуры воздуха на 2 градуса выше доиндустриального уровня к 2030 г. и на 4 — к 2090 г.) могут оказаться заниженными оценками, причем весьма заниженными по отношению к грядущим реалиям XXI века.

И вот, несмотря на то что результаты исследований Рабочей группы 1 были доступны для «творцов политики» в течение всего периода работы, а не только в окончательно опубликованном виде, выводы Рабочей группы 3 даже не содержат упоминания термина «глобальное потепление». Сорок шесть раз повторяется словосочетание «изменение климата», без упоминания — в какую сторону, а если это подразумевается, то обязательно добавляется слово «потенциальное». Как видим, это действительно просто-напросто игнорирование вывода ученых. Прилагательные «серьезные» и «значительные», которыми пестрит доклад климатологов, встречаются в докладе «политиков» только в сочетании с трудностями, стоявшими перед авторами доклада, да еще, пожалуй, для определения степени неоднозначности выводов ученых.

Доклад «политиков» почти не учитывает выводов еще одной группы IPCC — Рабочей группы по изучению воздействия (Рабочая группа 2). Геологические данные говорят о том, что повышение температуры на 1,5–4,5 град.С (2,7–8,1 по Фаренгейту), предсказываемое моделями климата при удвоении концентрации ПГ в атмосфере, н и к о г д а не имело места в истории Земли за столь короткие, как ожидается, сроки. Такое нарастание само по себе, даже без возможного усиления за счет упомянутых положительных связей, приведет к тяжелым нарушениям во всех земных экосистемах. В окончательном докладе Рабочей группы по изучению воздействия утверждается, что «скорость нарастания температуры будет, скорее всего, превышать предел, который могут выдержать экосистемы. Большая часть зон растительности претерпит, таким образом, серьезные нарушения вплоть до уничтожения.» Среди выводов Рабочей группы 2 присутствует, например, и такой: «может произойти значительное сокращение видового многообразия», а также расширяются возможности неконтролируемого распространения популяций вредных насекомых и микробов-возбудителей болезней «за пределами тропической зоны, где они сейчас сосредоточены, на субтропическую зону и даже нынешнюю среднюю полосу», с соответствующими разрушительными последствиями для местных сельскохозяйственных культур. Что касается сельского хозяйства, то Рабочая группа 2 предупреждает, что «влажность почвы снизится» в некоторых регионах, «особенно в тех, которые уже сейчас находятся на границе опустынивания, прежде всего в Африке». По поводу здоровья населения Земли утверждается, что «наиболее сильному негативному воздействию подвергнутся жители крупных урбанизированных районов», а изменения климата

«могут способствовать распространению специфических для жаркой зоны болезней на более обширные территории и тем самым увеличить риск заболеваемости для много большего числа людей». Красной нитью проходит через доклад Рабочей группы 2 мысль о том, что имеющиеся неопределенности в оценках могут обусловить уровень риска гораздо выше приведенных цифр. Та же мысль проходит через главы этой книги, посвященные оценке эффектов воздействия.

Доклад «политиков», наоборот, написан языком, который никак не вяжется с реальной опасностью предсказываемых учеными процессов. Если быть точными, то отметим, что в этом докладе всего шесть раз упоминается, что климатические изменения, возможно, приведут к ряду заметных эффектов.

Даже не уделяя внимания обсуждению плюсов и минусов различных мер по преодолению грозящей опасности, подробно описанной двумя Рабочими группами, в докладе «политиков» непропорционально много места уделяется необходимости дальнейшей научной проработки вопроса. При этом в резюме доклада уже проведенные исследования 12 раз характеризуются как «тщательные» и «полные». В то же время, в соответствующем разделе доклада ученых доказывалось, что никакие дополнительные исследования, по крайней мере в течение ближайших десятилетий, не смогут сузить поле неопределенности, очерченное уже проведенными научными изысканиями.

«Творцы политики» из IPCC в своих рекомендациях упоминают о необходимости приступить к международным переговорам по разработке Климатической конвенции, но «только в пределах принципов и обязательств, касающихся изменений климата». Ни словом в рекомендациях (и даже в обсуждении) не упомянута необходимость сокращения объемов выбросов парниковых газов. Вспомним, что ЕРА (Агентство по охране окружающей среды США) так же, как и группа ученых IPCC, пришли к выводу о том, что стабилизация концентраций ПГ в атмосфере потребует сокращения нынешних ежегодных объемов выбросов углекислого газа на 60–80%. В свете этих выводов, подкрепляемых доводами ученых о положительных связях ускорения процесса глобального потепления, нежелание «политиков» включать вопрос о выбросах CO₂ в Климатическую конвенцию выглядит как сознательное пренебрежение безопасностью окружающей среды для будущих поколений людей.

В своем докладе «политики» даже не выступают за замораживание выбросов в атмосферу. Определяя свой доклад как «предварительную оценку наиболее важных аспектов проблемы для практических политиков», они тем не менее констатируют: «завершить анализ [количественного описания целей] к моменту публикации оказалось невозможным». Как следует расценивать подобное заявление, если в тех же временных рамках были завершены многие исследования и ряд крупнейших ученых в составе нескольких рабочих групп опубликовали сценарии постепенного сокращения эмиссий загрязняющих веществ в атмосферу.

«Политики» IPCC в своем докладе неоднократно сетуют на слишком большие затраты, сопровождающие действия по предотвращению климатических изменений, но ни словом не упоминают о цене бездействия. Создается впечатление, что сокращение объемов вредных выбросов приведет к кризису мировой экономики. Например, в этом докладе все, что могло касаться мер по снижению эмиссий, заменяется фразой: «серьезное ограничение на проведение анализа накладывает отсутствие данных по социально-экономическим затратам на различные виды ответных действий». По поводу качественных оценок, сделанных двумя рабочими группами, «делатели политики» заявляют: «адекватное понимание преимуществ, возникающих при исключении возможных изменений климата, также отсутствует».

Ни в одном разделе этого доклада вы не найдете мыслей об ответственности за вредные выбросы ПГ как в прошлом, так и в будущем. Ученые IPCC со всей очевидностью доказали, что безусловно большая часть парниковых газов на протяжении всей истории выбрасывается в развитых странах и, хотя развивающиеся страны начинают «подтягиваться» в этом отношении, но богатые страны продолжают лидировать по объемам эмиссий. Именно нынешние выбросы в промышленно развитых странах послужат причиной начала потепления на территориях, занятых развивающимися странами (эффект задержки изменения радиационных свойств атмосферы по отношению к времени выбросов ПГ, вызывающих эти изменения). Поэтому будет только справедливо, если богатые страны возьмут на себя львиную долю затрат на сокращение объемов эмиссий.

9.4. Потепление глобальное и... индивидуальное

Большая часть раздела книги, посвященного политическим решениям проблемы, касается роли правительственных и промышленных кругов в будущих вариантах решения проблемы глобального потепления, а также вопросов взаимодействия и взаимосвязи между представителями этих кругов на международном уровне. Именно здесь смена основных парадигм сознания, скорее всего, приведет нас к реальным возможностям выживания в свете надвигающейся беды. Но, разумеется, не менее важным фактором представляются изменения в сознании каждого человека. В конце концов, и правительства, и промышленность созданы для людей. Надо помнить о том, что, кроме обращения к сильным мира сего, каждый из нас должен вырабатывать в себе новые черты образа жизни, связанные с наличием угрозы парникового эффекта. Что для этого надо делать? Прочитав эту книгу, каждый может выбрать для себя свой путь. Краткий кодекс жителя Земли, борющегося с опасностью глобального потепления, мы приводим ниже. Подробности можно найти во многих книгах, вышедших недавно из печати [25]. Подчеркнем, что этот кодекс — всего лишь советы начинающему. Итак,

ДЕЙСТВИЯ ГРАЖДАНИНА ЗЕМЛИ, ОБЕСПОКОЕННОГО ОПАСНОСТЬЮ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА

* Заменить в доме лампы накаливания на экономичные флюоресцентные лампы.

* Улучшить теплоизоляцию дома и котла для подогрева воды.

* Покупать наиболее эффективные нагреватели воздуха и прочее бытовое электрооборудование.

* Выбирать из бытового мусора все, что может пригодиться для вторичной переработки и сдавать это приемщикам вторсырья.

* Отказаться от престижных больших машин, больше пользоваться общественным транспортом.

* Предпочитать продукты сельского хозяйства, полученные с помощью привычных способов, продуктам интенсивного хозяйства.

* Увеличивать долю растительной пищи в рационе питания.

* Проявлять активность в объединениях потребителей, поддерживая спрос на продукцию компаний, работающих на предотвращение глобального потепления;

* Использовать все возможности для распространения знаний об опасности парникового эффекта среди других людей.

Начинать надо с собственного дома, сделав все возможное для эффективного использования энергии в бытовых системах. Для этого надо укреплять теплоизоляцию крыши, стен, окон. Хорошо изолированный дом позволяет сокращать выбросы CO_2 тоннами — ведь для него больше не нужны избытки энергии, которые раньше улетали, рассеиваясь в мировом пространстве. Мало того, ежегодные счета за электроэнергию могут уменьшиться от нескольких сотен до нескольких десятков долларов в год [26]. Большую экономию как энергии, так и денег (а в результате — уменьшение выбросов углекислого газа) приносит использование средств контроля тепла, например термостатов, газоконденсатных бойлеров и других устройств, подробно описанных здесь в главе Эмори Лавинса.

Важным представляется также вовремя заменять бытовое оборудование, у которого заканчивается срок эксплуатации. Главная черта старого механизма — большой расход энергии. Эмори Лавинс дает в своих статьях обзор экономичных устройств, появляющихся в последнее время на мировом рынке. К сожалению, эти свойства товаров редко отображаются на их маркировке. Общества потребителей должны добиваться, чтобы маркировка содержала данные по экономичности и другим характеристикам, важным при выборе для покупателя, озабоченного будущим климата Земли.

Потребитель, проявляя активность в поиске подходящих товаров, создает ситуацию, при которой производители товаров, в свою очередь, начнут обращать внимание на свойства своей продукции, имеющие отношение к парниковому эффекту. Недалеко то время, когда показателем конкурентоспособности товара будет его «дружественность» по отношению к мерам предотвращения глобального потепления. Спрос является основным аргументом для любого производителя, следовательно, покупатели могут внести в дело предотвращения опасности парникового

эффекта свой вклад, не меньший, чем толстосумы из транснациональных корпораций или политики, принимающие законы.

Вопрос о выброшенной бумаге или лишней упаковке также очень важен, поскольку бумажный мусор может скапливаться в количествах, достаточных для начала процесса выделения метана (на влажных свалках), так что способствовать вторичной переработке этих материалов — это значит снижать концентрацию одного из важнейших ПГ в атмосфере.

Что касается автотранспорта, для нас нет иного выхода, кроме как идти по пути «великой автомобильной экономии». Майкл Уолш в своей главе доказывает, что вклад автотранспорта в развитие парникового эффекта огромен. Именно здесь усилила всех и каждого жителя Земли могут дать ощутимый эффект. Автопромышленники во всем мире пока что исповедуют принципы, противоположные почти единодушному мнению ученых и многих других людей. Они тратят миллионы на то, чтобы люди связывали свои представления о престиже, статусе, уровне жизни и даже сексуальности с собственным автомобилем. То же делают и нефтяные компании, чье процветание прямо связано с числом автомобилей и мощностью двигателей. Надо помнить о том, что неважно, чей бензин — Экссон или Шелл — сгорая в двигателе «БМВ» или «Ситроена», или любой другой машины, добавляет два с половиной килограмма углекислого газа в атмосферу в расчете на литр горючего. Средний автомобиль ежегодно поставляет в атмосферу углекислый газ в количестве, вчетверо превышающем собственную массу [27]. Стало быть, обеспокоенный будущим состоянием атмосферы житель Земли постарается больше пользоваться общественным транспортом и внимательно выбирать свой личный автомобиль.

Замена двигателей внутреннего сгорания на альтернативные варианты — это вопрос времени. При этом надо помнить, что электромобили, например, просто-напросто перекадывают свой вклад в загрязнение атмосферы на электростанции, которые по-прежнему сжигают органическое топливо. Следовательно, смена парадигм в области транспорта неотделима от этого процесса в области производства энергии.

Предпочитая сельскохозяйственные продукты, полученные с использованием натуральных органических удобрений, продуктам, выращенным на полях, обработанных химическими удобрениями, мы уменьшаем выбросы окислов азота, которые возникают на предприятиях азотнотуковой промышленности. С учетом таких фактов, как загрязнение поверхностных вод нитратами и истощение плодородных земель в результате интенсивных методов ведения сельского хозяйства [28], вопрос о предпочтении натуральных продуктов встает еще острее. Потребление растительной пищи при сокращении потребления мяса сокращает выделение метана из силосных ям.

Мнение потребительских объединений — огромная сила. Они могут организовывать бойкот компаний, вовлеченных, например, в сведение лесных массивов, либо тех, кто зарабатывает на увеличении риска глобального потепления. Это особенно важно на ранних стадиях перехода к стратегии противодействия парниковому эффекту. Такие

компании будут вынуждены перестраиваться — либо терять прибыль. Сила печатного слова — одно из самых мощных средств воздействия, доступных каждому. Любой активист «Гринпис» скажет вам, что правительства, государственные учреждения и частные компании весьма чутко реагируют на публикации, которые могут вызвать поток писем возмущенных граждан. Письмо с обращением к конкретным лицам и организациям — это тоже большая сила. Чем больше людей отдают себе в этом отчет, тем больше эффект отдельной акции. Куда, кому и что писать — на эти вопросы вам готовы ответить в любом региональном отделении организации «Гринпис».

9.5. Заключение

В недавней публикации (часто цитируемой в нашей книге) бывшего президента компании «Shell Oil» защищается тезис об увеличении потребности в органическом топливе в будущем столетии. Многие ученые-климатологи полагают, что в данном случае — это потребность в коллективном самоубийстве спустя несколько поколений. В той же публикации есть следующая фраза: «Медлительность проникновения на рынок альтернативных источников энергии связана, прежде всего, с инерцией социального, экономического и технологического статуса. Стиль жизни и личные пристрастия каждого человека — весьма медленно меняющиеся вещи, изменения заметны только через два или более поколений» [29].

Именно это является основой для важнейшей перемены ориентиров, которую мы должны осуществить, если отдаем себе отчет в опасности глобального потепления. Человек как представитель биологического вида, в принципе, не склонен к массовому самоубийству. Опасность здесь в другом — когда человечество как вид осознает угрозу, действовать будет поздно. Проблема глобального потепления климата имеет весьма интересную особенность, по крайней мере для людей, отдающих себе отчет в ее серьезности, эта проблема имеет очевидное решение. При этом никто не отрицает, что достичь решения проблемы можно только тогда, когда в сознании и поведении людей наступит некий психологический перелом. Прежде всего это касается межгосударственных отношений. Уровень международной кооперации, необходимый для преодоления угрозы глобального потепления, пока не имел прецедентов в истории человечества. Выйти на этот уровень — вот главная задача на период 90-х годов. Нет ни одной цели среди стоящих перед нами сейчас, которая могла бы сравниться по значению с этой.

ПРИМЕЧАНИЯ

Примечания к главе 1

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change, Scientific Assessment of Climate Change (Report of Working Group 1 and accompanying Policymakers Summary, Juni 1990).

[2] Потенциал глобального потепления определяется способностью 1 кг любого газа вносить свой вклад в повышение температуры атмосферы, отнесенной к способности 1 кг двуокиси углерода с учетом такого показателя, как время существования вещества в атмосфере (из Доклада IPCC).

[3] Криосфера включает в себя полярные ледяные шапки, лед ледников и вечных снегов, а также вечномерзлые породы в земной коре.

[4] Под биосферой понимается приповерхностная оболочка Земли, где сосредоточена среда обитания всех живых организмов.

[5] Геосфера — твердые горные породы, слагающие Землю.

[6] См. IPCC, п. 1. section 2.

[7] Аэрозоль — частички твердого вещества или капельки жидкости, находящиеся во взвешенном состоянии в атмосфере.

[8] Альbedo — термин, употребляющийся для обозначения способности всех объектов земной поверхности (почва, растительный покров, водная поверхность, ледяной и снежный покровы, облака и другие атмосферные аэрозоли), либо каждого объекта в отдельности отражать солнечную радиацию. Чем выше значение альbedo, тем выше отражающая способность.

[9] Физическая природа парникового эффекта и некоторые свойства газов, сохраняющих тепло в атмосфере, были исследованы на рубеже XIX-XX вв. шведским ученым Сванте Аррениусом.

[10] См. I.Gribbin. «The end of ice ages?» New Scientist, 17 June 1989, 48-52.

[11] См., например, J.Smagorinsky, «Strengths weaknesses of GCMs», introductory paper to the symposium on «Climate Change — models and policies», AAAS meeting, New Orleans, 19 Feb. 1990.

[12] См. IPCC, п. 1.

[13] Главнейшими центрами являются: Университет штата Иллинойс, Институт космических исследований Годдарда, NASA; Геофизическая лаборатория динамики флюидов, NOAA, Принстонский университет; Национальный центр атмосферных исследований (Колорадо); Ливерморская национальная лаборатория им. Лоуренса (Калифорния);

Метеорологическая служба Великобритании; г. Гамбург (Германия), Канадский климатический центр.

[14] См. IPCC, п. 1.

[15] Там же.

[16] См. IPCC, п. 1, Section 5.

[17] См. IPCC, п. 1, Section 7.

[18] S.Schneider. «The changing global climate», Scientific American (Sept.1989), vol. 261, no. 3, pp. 38-47.

[19] См. IPCC, п. 1, Policymakers Summary, p. 16.

[20] C.Lorius et al., «Antarctic ice core: CO₂.

[21] См. Gribbian and Imbrie et al., n. 10.

[22] См. Lorius et al., n. 20.

[23] См. Gribbian and Imbrie et al., n. 10.

[24] См. F.I.Woodward, Climate and Plant Distribution (Cambridge University Press, 1987).

[25] H. and E.Stommel. «The year without a summer», Scientific American, June 1979.

[26] См. IPCC, п. 1, Policymakers Summary, p. 10.

[27] См. section 1.5.7 on ocean circulation.

[28] См. IPCC, п. 1, Policymakers Summary.

[29] См. Scheider, n. 18.

[30] См. Biota and Palaeotemperatures, a collection of papers in the Journal of the Geological Society of London (1989), vol. 146, pp. 145-86.

[31] J.Hansen, testimony to US Congress, 1988.

[32] См., например, раздел «Письма» в журнале «Science», 4 авг. 1989, с.с. 451-452.

[33] R.A.Houghton and G.M.Woodwell. «Global climatic change», Scientific American, Apr.1989, pp. 36-44.

[34] C. Clover. «Thih ice alert by polar scientists», Daily Telegraph, 1 Sept.1989, also: A.Coghlan, «American Navy witholds «greenhouse» data», New Scientist, 9. September 1989, p. 46.

[35] R.Highfield. «Glodal warming melts polar ice at British Antarctic base», Daily Telegraph, 27 September 1989.

[36] См. IPCC, п. 1, Policymakers Summary, p. 22.

[37] W.S.Broecker. «Unpleasant surprises in the greenhouse?», Nature (July 1987). Vol. 328, pp. 123-6.

[38] См. IPCC, п. 1, Section 1.

[39] Однако следует иметь в виду предупреждения, высказанные в работе Tans.Takahashi и др.; см. ниже раздел, посвященный внесению углекислых удобрений.

[40] R.A.Berner and A.C. Lasaga. «Modelling the geochemical carbon cycle», Scientific American, Mar.1989, 54-61.

[41] Оценка IPCC — 0,6-2,5 Гт углерода в результате сведения лесов. В данной статье используется оценка Ч.Килинга из Скриппсовского института — 4 Гт.

[42] См. Houghton and Woodwell, п. 33.

[43] B.Bolin. «How much CO₂ will remain in the atmosphere? The carbon cycle and projections for the future», in B.Bolin, B.R.Doos, J.Jager

and Warrick, (eds.). The Greenhouse Effect, Climate Change and Ecosystems (Scope Report no. 29, John Wiley), pp. 93-155.

[44] J.F.Bookout. «Two centuries of fossil fuel energy», Episodes (Journal of the International Union of Geological Sciences). (Dec. 1989), pp. 257-62.

[45] См. Schneider, n. 18.

[46] World Resources Institute, World Resources 1988-89 (Washington DC).

[47] См. Bookout, n. 44.

[48] Z.Jiaheng and H.Gualin. «The development of energy and its influences on environment», paper submitted for the 39th Pugwash Conference on Science and World Affairs, Cambridge, MA, 23-8 July 1989.

[49] Barron, et al., cited in n. 33.

[50] V.Ramanathan, B.R.Barkstrom and E.F.Harrison. «Climate the Earth's radiation budget», Physics Today (May 1989), pp. 22-23

[51] См. IPCC, n. 1, Policymakers Summary, p. 2.

[52] Там же, с.10.

[53] Там же, с.19.

[54] A.Raval and V.Ramanathan. «Observational Determination of the Greenhouse Effect», Nature (1989), vol. 342, pp. 758-61.

[55] См. IPCC, n. 1, section 3.3.3, p. 9.

[56] Тропосфера — это «погодообразующая» часть атмосферы — ее нижние 10-15 км.

[57] R.D.Cess et al., «Interpretation of cloud climate feedback as produced by 14 atmospheric general circulation models», Science (1989), vol. 245, pp. 513-6.

[58] См. Ramanathan et al., n. 50.

[59] См. IPCC, n. 1, section 3.3.4.

[60] W.J.Ingram commenting at the AAAS meeting in New Orleans, Feb.1990, in the UK Met. Office model. J.F.B.Mitchell, G.A.Senior and W.J.Ingram, «CO₂ and climate: a missing feedback?», Nature (1989), vol. 341, 132-4.

[61] Michael Schlesinger and Anthony del Genio, presentation on behalf of the OSU/UI and GISS modelling teams, respectively, at the symposium on «Climate Change — models and policies», AAAS meeting. New Orleans, 19 Feb.1990.

[62] S.Hameed and R.Cess, «Impact of a global warming on biospheric sources of methane and its climatic consequences», Tellus (1983), vol. 35B, pp. 1-7.

[63] См. n. 58 and D.A.Lashof. «The dynamic greenhouse: feedback processes that may influence future concentrations of atmospheric trace gases and climate change», Climatic Change (1989), vol. 14, pp. 213-42.

[64] Среднее содержание гидроксила в тропосфере составляет 3×10 в минус четырнадцатой степени. Согласно Paul Crutzen. «Global changes in atmospheric chemistry», докладу, представленному на Первой ассамблее Европейской академии (в печати). См. также J.Leliveld, P.Grutzen. Influences of cloud photochemical processes on tropospheric ozone». Nature. (1990), Vol. 343. P. p. 227-233.

[65] См. IPCC, n. 1, section 2.2.3.

[66] См. IPCC, п. 1, section 2, and T.Wigley, «Possible climate change due to SO₂ derived cloud condensation nuclei», *Nature* (1989), vol. 339, pp. 365-7.

[67] См. IPCC, п. 1, section 8.

[68] Т. Takahashi. «The carbon dioxide puzzle», *Oceanus* (1989), vol. 32, no. 2, pp. 22-9.

[69] См. IPCC, п. 1, section 1.2.7.1.1.

[70] Там же, section 1.

[71] Там же, section 1.2.7.1.1, см. также Lashof, п. 63.

[72] Natural Environment Research Council, *Oceans and global carbon cycle* (NERC, 1989).

[73] См. Takahashi, п. 68.

[74] См. IPCC, п. 1, section 1.2.7.1.2.

[75] Заметим, что в вертикальном разрезе океанских вод различают три слоя: слой сезонного раздела, слой холодной воды и слой теплой воды. Первый слой, достигающий 100 м в тропиках и нескольких сотен метров в приполярных областях, представляет собой слой полностью перемешанной воды. Холодный нижний слой занимает почти 80% объема океанов и вентилируется нисходящими течениями у полярных областей. Между этими слоями располагается теплый слой, который вентилируется потоками из слоя сезонного раздела.

[76] B.H.Stauffer et al., «Atmospheric CO₂ concentrations during the last glaciation», *Annals of Glaciology* (1984), vol. 5, pp. 760-4, and W.S.Broecker, «Unpleasant surprises in the greenhouse?», *Nature* (1987), vol. 328, pp. 123-6.

[77] См. Broecker, п. 76 and IPCC, п. 74.

[78] См. Takahashi, п. 68.

[79] См. IPCC, п. 1, section 1.2.7.1.3.

[80] Там же, section 1.2.7.1.4.

[81] B.R.Strain and J.D.Dure (eds.), *Direct effect of increasing carbon dioxide on vegetation* (DOE-ER-0238, US Department of Energy, Washington, DC, 1985), and IPCC, п. 1, section 1.2.7.2.1.

[82] IPCC, там же.

[83] См. Bolin, 43.

[84] См. IPCC, п. 1, section 1.

[85] См. Takahashi, п. 68, п. 29, and P. P. Tans, I.Y.Fung, and T.Takahashi. «Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget», *Science* (1990), vol. 247, pp. 1431-8.

[86] См. Takahashi, п. 68.

[87] См. IPCC, п. 1, section 1.2.7.2.2.

[88] См., например, отчет о Далемской конференции: J.Churfas. «The fringe of the ocean — under siege from land». *Science* (1990), vol. 248, pp. 163-165.

[89] См. IPCC, п. 1, section 1.2.7.2.2.

[90] Там же, section 1.2.7.1.3.

[91] Там же, section 1, fig.1, and references in caption.

[93] См. Lashof, п. 63.

[94] См. IPCC, п. 1, section 1.2.7.2.4.

[95] Там же, section 1.2.7.1.5.

- [96] J.T.Overpeck, D.Ring and R.Goldberg. «Climate-induced changes in forest disturbance and vegetation», *Nature* (1990), vol. 343, pp. 51-4.
- [97] См. Lashof, n. 63, p. 227.
- [98] R.Cess. «Biosphere-albedo feedback and climate modelling», *Journal of Atmospheric Science* (1978), vol. 35, pp. 1765-9.
- [99] См. IPCC, n. 1, section 1.2.7.2.5.
- [100] UNEP, Environmental effect of ozone depletion, report of the panel for Environmental Assessment (UNEP/OZL. Pro. Asmt. 1/Inf.2, 1989).
- [101] См. IPCC, n. 1, section 1.3.3.2.
- [102] Там же, table 2.8.
- [103] См. Lashof, n. 63, p. 233-5.
- [104] См. IPCC, n. 1, section 1.3.4.1.
- [105] См. Lashof, n. 63, p. 235.
- [106] См. IPCC, n. 1, section 1.3.4.1.
- [107] См. Lashof, n. 63, p. 235.
- [108] См. IPCC, n. 1, section 1.3.4.2.
- [109] Там же.
- [110] См. Lashof, n. 63.
- [111] P. G.Nisbet, «Some northern sources of atmospheric methane: production, history, and future implications», *Canadian Journal of Earth Sciences* (1989), vol. 26, pp. 1603-11.
- [112] См. IPCC, n. 1, section 1.3.4.2.
- [113] См. Nisbet, n. 101.
- [114] K.A.Kvenvolden. «Methane hydrates and global change», *Global Biogeochemical Cycles* (Sept. 1988), vol. 2, pp. 221-9.
- [115] G.J.MacDonald. «Role of methane clathrates in past and future climates», paper presented at the Second North American Conference on «Preparing for Climate Change: A Cooperative Approach», sponsored by the Climate Institute, Washington, DC, 6-8 Dec. 1988.
- [116] См. Berner and Lasaga, n. 40.
- [117] См. Kvenvolden, n. 114, p. 224.
- [118] См. MacDonald, n. 115.
- [119] См. Nisbet, n. 111.
- [120] Там же, pp. 1603 and 1608.
- [121] Заметим также, что существенное количество метана часто захватывается в виде свободного газа под непроницаемыми слоями гидратов в глубоководных областях (см. [114],[115]). Если в результате конвективных процессов образуется определенное соотношение гидратов и метана в смеси, то возникают громадные выбросы газа на поверхность в виде гигантских пузырей.
- [122] J.W.Clarke, P.St.Armand and M.Matson. «Possible causes of plumes from Bennett Island, Soviet Far Arctic», *American of Petroleum Geologists Bulletin* (1986), vol. 70, p. 574.
- [123] См. Nisbet, n. 111, p. 1608.
- [124] См. IPCC, n. 1, Policymakers Summary, p. 8.
- [125] D.A.Lashof and D.A.Tirpak (eds.). «Policy Responses for Stabilizing Global Climate», draft report to Congress (US Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning and Evaluation. Washington, DC, 1989).

Примечания к главе 2

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Scientific Assessment of Climate Change (World Meteorological Organization, Geneva, 1990).

[2] S.H.Schneider. «Climate Modelling», Scientific American (1987), vol. 256, no. 5, pp. 72-80.

[3] M.O. Andreae and D.S.Schimmel (eds.). Dahlem Workshop on Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and Atmosphere. New York, 1989.

[4] A.Raval and V. Ramanathan. «Observational Determination of the Greenhouse Effect», Nature (1989), vol. 342, pp. 758.

[5] L.O.Mearns, S.H.Schneider, S.L.Thompson and L.R.McDaniel. «Analysis of climate variability in general circulation models: Comparison with observations and changes in variability in $2\times\text{CO}_2$ experiments», Journal of Geophysical Research (in press); D.Rind, R.Goldberg and R.Ruedy. «Change in Climate Variability in the 21st Century», Climatic Change (1989), vol. 14, pp. 5-37.

[6] K.C.Land and S.H.Schneider. «Forecasting in the Social and Natural Sciences: An Overview and Analysis of Isomorphisms», Climatic Change (1987), vol. 11, pp. 7-31.

[7] J.E.Rutzbach and P. J.Guetter. «The Influence Changing Orbital Parameters and Surface Boundary Conditions on Climate Simulations for the Past 18000 Years», Journal of Atmospheric Sciences (1986), vol. 43, pp. 1726-59.

[8] COHMAP Members (P.M.Abderson et al.). «Climatic Changes of the Last 18000 Years: Observations and Model Simulations», Science (1988), vol. 241.

[9] R.E.Dickinson and R.J.Cicerone. «Future global warming from atmospheric trace gases», Nature (1986), vol. 319, pp. 109-15.

[10] W.M.Washington and G.A.Meehl, «Climate Sensitivity Due to Increased CO_2 : Experiments With a Coupled Atmosphere and Ocean General Circulation Model», Climate Dynamics (1989), vol. 4, pp. 1-38; R.J.Stouffer et al., «Interhemispheric asymmetry in Climate Response to a Gradual Increase of Atmospheric CO_2 », Nature (1989), vol. 342, pp. 660-2.

[11] S.H.Schneider and S.L.Thompson. «Atmospheric CO_2 and Climate: Importance of the Transient Response», Journal of Atmospheric Science (1981), vol. 37, pp. 895-900.

[12] George C. Marshall Institute, Scientific Perspectives on the Greenhouse Problem (Washington, DC, 1989).

[13] IPCC, n. 1.

[14] W.T.Brookes. «The Global Warming Panic», Forbes, 25 Dec. 1989, pp. 96-102.

[15] R.Peters (ed.). Proceedings of the Conference on the Consequences of the Greenhouse Effect for Biological Diversity (New Haven, in press).

[16] «Loads of Media Coverage». Detroit News, 22 Nov. 1989; S.H.Schneider, «News Plays Fast and Loose With the Facts», Detroit News, 5 Dec. 1989.

[17] George C.Marshall Inst., n. 12.

[18] H.W.Ellsaesser. «The Climatic Effect of CO₂: A Different View», Atmospheric Environment (1984), vol. 18, pp. 431-4; R.Lindzen. «Some coolness concerning global warming», Bulletin of the American Meteorological Society (1990), vol. 77, pp. 288-99.

[19] Raval and Ramanathan, n. 4.

[20] J.F.B.Mitchell, W.J.Ingram and C.A.Senior. «CO₂ and Climate: A Missing Feedback?», Nature (1989), vol. 341, pp. 132-4.

[21] IPCC, n. 1.

[22] National Academy of Sciences, Current Issues in Atmospheric Change (National Academy Press, Washington, DC, 1987).

[23] George C.Marshall Inst., n. 12.

[24] J.Hansen, D.Johnson, A.Lacis, S.Lebedeff, P.Lee, D.Rind and G.Russell. «Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide», Science (1981), vol.213, pp.957-66; R.L.Gilliland and S.H.Schneider. «Volcanic, CO₂ and Solar Forcing of Northern and Southern Hemisphere Surface Air Temperatures», Nature (1984),vol.310, pp.38-41; T.M.L.Wigley and S.C.B.Raper. Natural Variability of the Climate System and Detection of the Greenhouse Effect», Nature (1990), vol. 344, pp. 324-7.

[25] Chap. 8, n. 1.

[26] R.W.Spencer and J.R.Christy. «Precise Monitoring of Global Temperature Trends from Satellites», Science (1990), vol. 247, pp. 1558-62.

[27] J.Hansen and S.Lebedeff. «Global surface air temperatures: update through 1987», Geophysical Research Letter (1988), vol. 15, pp. 323-6.

Примечания к главе 3

[1] В процессе участвуют следующие газы; углекислый газ (CO₂), окись азота (N₂O), хлорфторуглероды (фреоны), озон (O₃), водяные пары (H₂O). Их влияние подробно описано в обзоре IPCC и ряде других недавно вышедших из печати публикаций.

[2] Величина потепления обычно связывается с моментом, когда концентрация углекислого газа в атмосфере вдвое превысит ее значение в середине прошлого века (270 ppm). Считается, что при достижении этой концентрации климат Земли стабилизируется в новом, более теплом состоянии. Это неверно. Никакой стабилизации не произойдет, и Земля будет продолжать нагреваться, если не будут приняты меры по ограничению дальнейшего накопления парниковых газов в атмосфере.

[3] The topic is treated in detail in Developing Policies for Responding to Climatic Change: a summary of discussions and recommendations of workshops held in Villach and Bellagio, 1987 (WMO/UNEP, 1988); evidence of changes in patterns of rainfall has been presented by R.S.Bradley, H.F.Diaz, J.K.Eischeid, P.D.Jones, P.M.Kelly and C.M.Goodess. «Precipitation Fluctuation over Northern Hemisphere land areas since the mid-19th century», Science (1987), vol. 237, pp. 171-5.

[4] На вопрос о том, существуют ли пределы для увеличения средней температуры по мере накопления двуокиси углерода, а также для глобального распространения эффекта потепления климата, существует четкий ответ; нет (см. [2] и [3]).

[5] См. п. 3.

[6] Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group 3 Report, Response Strategies Working Group (June 1990).

[7] Сведение лесов явилось главной причиной аккумуляции двуокиси углерода до середины XX века, а впоследствии главным источником стало сжигание органического топлива (причем сведение лесов продолжает вносить свой вклад). Подробности можно найти в следующих публикациях. R.P. Detwiler and C.A.S.Hall. «Tropical forests and the global carbon cycle», Science (1987), vol.239, pp.42-50; R.A.Houghton, J.E.Hobbie, J.M.Melillo, B.Moore, B.J.Peterson, G.R.Shaver, G.M.Woodwell. «Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere», Ecological Monographs (1982), vol.53, pp.235-62; R.A.Houghton. «Emissions of Greenhouse Gases», in N.Myers (ed.), Deforestation Rates in Tropical Forests and Their Climatic Implications (London, 1989); G.M.Woodwell and R.A.Houghton. «Biotic influences on the world carbon budget», in W.Stumm (ed.), Global Chemical Cycles and Their Alterations be Man (Dahlem Konferenzen, Berlin, 1977); G.M.Woodwell, R.H.Whittaker, W.A.Reiners, G.E.Likens, C.C.Delwiche and D.B.Botkin. «The biota and the world carbon budget», Science (1978), vol.199, pp.141-6; G.M.Woodwell, J.E.Hobbie, R.A.Houghton, J.M.Melillo, B.Moore, B.J.Peterson, G.R.Shaver. «Global Deforestation: Contribution to Atmospheric Carbon Dioxide», Science (1983), vol.222, pp.1,081-6; G.M.Woodwell. «Biotic effects on the concentration of atmospheric carbon dioxide: A review and projection», in Changing Climate, n. 1.

[8] Количество углерода, сохраняющегося в лесных массивах, втрое превышает его количество в атмосфере. Количество углерода в древесине и зеленой массе оценивается в 500-600 млрд т; в почвах лесных массивов — в 1500 млрд т. В атмосфере содержится около 750 млрд т углерода.

[9] Дискуссии на эту тему постоянно ширились [7].

[10] См. п. 8.

[11] IPCC Working Group 1 Report, Scientific Assessment of Climate Change (June 1990).

[12] См. Houghton, n. 7.

[13] W.S.Broecker. «Unpleasant surprises in the greenhouse?», Nature (1987), vol. 328, pp. 123-6.

[14] Общий среднегодовой поток обмена между атмосферой и океанами включает в себя около 100 млрд т углерода в форме двуокиси. Любое изменение в течении этого процесса грозит весьма быстрыми переменами в газовом составе атмосферы. Подобный обмен существует также между атмосферой и наземными экосистемами.

[15] B.R.Strain and I.D.Cure (eds.). Direct Effects of Increasing Carbon Dioxide on Vegetation (US Department of Energy, National Technical Information Service, Springfield, Virginia, 1985).

[16] B.G.Drake. Elevated atmospheric CO₂ concentration increases carbon sequestering in coastal wetlands, (Carbon Dioxide Information Analysis Center, Environmental Sciences Division, ORNL, Oak Ridge, Tennessee, 1989).

[17] W.C.Oechel and G.H.Reichers. «Impacts of increasing CO₂ on natural vegetation, particularly the tundra», in Proceedings of the Climate-Vegetation Workshop, (NASA/GSFC, Greenbelt, Maryland, Jan.1986); B.G.Drake, R.J.Luxmoore, H.A.Mooney, W.C.Oechel and L.F.Pitelka. «How will terrestrial ecosystems interact with the changing CO₂ concentration of the atmosphere and anticipated climatic change?» (unpublished manuscript, 1990).

[18] См. Woodwell, 1988-9, n. 9.

[19] D.A.Lashof. «The dynamic greenhouse: Feedback processes that may influence future concentrations of atmospheric trace-gases and climate change», Climatic Change (1989), vol. 14, pp. 213-42.

[20] W.R.Emanuel, H.H.Shugart and M.P. Stevenson. «Climate change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes», Climatic Change (1985), vol. 7, pp. 29-44.

[21] A.Solomon. «Transient response of forests to CO₂ — induced climate change: simulation modeling experiments in eastern North America», Oecologia (1986), vol. 68, pp. 567-79.

[22] G.M.Woodwell and R.H.Whittaker. «Primary production in terrestrial ecosystems», American Zoologist (1968), vol. 8, pp. 19-30.

[23] См. Woodwell, n. 7.

[24] J.M.Barnola, D.Reynaud, Y.S.Korotkevich and C. Lorius. «Vostok ice core provides 160.000-year record of atmospheric CO₂», Nature (1987), vol. 329, pp. 408-18.

[25] Это единственный способ оценки состава воздуха в прошлые эпохи — определение концентрации метана и двуокиси углерода в воздушных пузырьках, содержащихся в образцах керна льда, отнесенного к определенному геологическому возрасту. С 1958 г. можно пользоваться данными станции Мауна-Лоа, представляемые Килингом.

[26] J.Hansen and S.Lebedeff. «Global surface air temperatures: update through 1987», Geophysical Research Letters (1988), vol. 15, no. 4, pp. 323-6; P.D.Jones, T.M.L.Wigley and P.B.Wright. «Global temperature variations between 1861 and 1984», Nature (1986), vol. 322, pp. 430-4.

[27] Полный выход углерода от всех видов человеческой деятельности оценить невозможно. Известны следующие цифры: 5,6 млрд т в год углерода в виде двуокиси за счет сжигания органического топлива; 1,5-3,0 млрд т углерода за счет сведения лесов. Примерно 1-3 млрд т может добавляться за счет разложения органического вещества в естественных условиях.

[28] C.D.Keeling (устное сообщение).

[29] C.D.Keeling. «Aspects of Climate Variability in the Pacific and Western Americas», D.H.Peterson (ed.), Geophysical Monograph (1983), vol. 55, pp. 165-363 (American Geophysical Union).

[30] U.Siegenthaler. «El Nino and atmospheric CO₂», Nature (1990), vol.345, pp. 295-6.

[31] M.B.Davis. «Climatic change and survival of forest species». G.M.Woodwell (ed.), The Earth in Transition, (Cambridge University Press, New York, 1990).

[32] Там же.

[33] IPCC Working Group 2 Report, Impacts (June 1990); P. Crosson in a paper prepared for the WMO/UNEP Conference, 1988, n. 3.

[34] M.K. Burke, R.A. Houghton and G.M. Woodwell. «Progress toward predicting the potential for increased emissions of CH₄ from wetlands as-a consequence of global warming», in A.F. Bouwman (ed.), Soils and the Greenhouse Effect (London, 1990), pp. 451-5.

[35] Океанографы и климатологи предполагают, что в прошедшие эпохи состав атмосферы контролировался, в основном, характером газообмена между атмосферой и океанами. Это предположение оправдано, когда речь идет о веках и тысячелетиях. Но для сроков, исчисляющихся десятками лет и менее, это вряд ли правильно. Наиболее впечатляющее доказательство — способность лесных массивов менять количество CO₂ в атмосфере на несколько процентов за несколько недель в результате сезонной интенсивности фотосинтеза. Другое доказательство представлено здесь. Недавно вышла работа, которая активизировала дискуссию по этим вопросам.

[36] Двуокись углерода хорошо растворяется в воде океанов, где он вступает в сложную систему карбонат-бикарбонатных реакций. Метан же имеет слабую растворимость в морской воде и вследствие этого имеет тенденцию высвобождаться в атмосферу в виде газа. Совместный эффект от двух этих газов в ледниковый период позволяет предполагать, что обмен океан-атмосфера не играл в ту эпоху существенной роли.

Примечания к главе 4

[1] Dean Abrahamson and Peter Cibirowski (eds.), The Greenhouse Effect: policy implications of a global warming (Proceedings of a Symposium held in Minneapolis, Minnesota, on 29-30 May 1984); Michael C. Barth and James G. Titus (eds.), Greenhouse Effect and Sea Level Rise — a challenge for this generation (McGraw Hill Book Co., 1984).

[2] D.A. Lashof and D.A. Tirpak (eds.). «Policy Options for Stabilizing Global Climate», (US EPA Office of Policy, Planning and Evaluation; draft completed Feb. 1989, as yet unpublished); A.J. Streb. «Energy Efficiency and Global Warming, in Energy Technologies for Reducing Emissions from Greenhouse Gases (2 vols., OECD, Paris, 1989).

[3] Y. Kaya, K. Yamaji and R. Matsushashi. «A Grand Strategy for Global Warming» (Tokyo Conference on the Global Environment and Human Response toward Sustainable Development, 11-13 Sept. 1989).

[4] J. Goldemberg, T.B. Johansson, A.K.N. Reddy and R.H. Williams. Energy for a Sustainable World (Wiley Eastern Ltd., 1988).

[5] См. Lashof and Tirpak, n. 2.

[6] B. Bolin. «Preventive Measures to Slow Down Man-Induced Climate Change» (Report of the Second Session of the Steering Committee of IPCC Working Group 3. Geneva, 10-12 May 1989).

[7] Там же.

[8] E.S. Kalapula. «Woodfuel Situation and Deforestation in Zambia», Ambio, vol. 18, no. 5, p. 293; Energie Internationale (1989-90).

[9] «Amazonia: facts, problems and solutions», International Symposium on the Amazon (University of Sao Paulo, Brazil, July 1989; Coordinator: J.Goldemberg).

[10] OECD. The Polluter-Pays Principle (OECD, Paris, 1975).

[11] OECD. Economic Instruments for Environmental Protection (OECD, Paris, 1989), pp. 11-12.

[12] Там же.

[13] Там же.

[14] F. von Hippel and B.G.Levi. «Automotive Fuel Efficiency: the opportunities and weakness», Resources and Conservation (1983), vol. 10, no. 103, pp. 103-24.

[15] R.H.Williams. «Innovative Approaches to Market Electric Efficiency», in T.B.Johansson, B.Bodlund and R.H.Williams (eds.), Electricity-Efficiency End-Use and New Generation Technologies and Their Planning Implications (Lund University Press, Sweden, 1989); C. J.Cichetti and W.Hogan, Including Unbundled Demand Side Options in Electric Utility Bidding Programs (Energy and Environmental Policy Center Report no. E-88-07, J.F.Kennedy School of Government. Harvard University, Cambridge, Mass, 1988); A.B.Lovins. «Saving Gigabucks with Megawatts», Public Utilities Fortnightly (1985), pp. 19-26.

[16] McKinsey and Company Inc., Background paper on funding mechanisms, prepared for the Ministerial Conference on Atmospheric Pollution and Climate Change, Noordwijk, 6-7 Nov. 1989.

[17] См. Lashof and Tirpak, n. 2.

[18] Center for Strategic and International Studies, Implications of Global Climate Policies (Washington, DC, 27 June 1989).

[19] См. n. 3.

[20] Conference on the Changing Atmosphere: Implications for Global Security (Toronto, June 1988).

[21] См. n. 3.

[22] A.S.Manne and R.G.Richels. «CO₂ Emission Limits: an economic cost analysis for the USA — November 1989», The Energy Journal (submitted).

[23] R.H.Williams. «Energy Policy», The Energy Journal (submitted).

[24] A.M.Strout. «Energy-Intensive Materials and the Developing Countries», Materials and Society (1985), vol. 9, no. 3, pp. 281-330.

[25] Жеральдо Бардиери и Алексей Кравец. Университет в Сан-Паоло. Устное сообщение, 1989.

[26] См. п. 4.

[27] См. п. 23.

Примечания к главе 5

[1] Этот потенциал исчерпывающим образом подсчитан в результате исследований Института Рокки-Маунтин. В публикациях этого института также можно найти способы его практического применения.

[2] Если таким образом заменять энергию от АЭС, то можно предотвратить образование стронция-90 и цезия-137 на уровне около полови-

ны кюри, а также около 25 мг плутония, эквивалентного по взрывной способности 385 кг тротила. Если замене подвергается энергия от ТЭС, работающей на нефтяном топливе (в США в настоящее время это довольно редкое явление), то экономится топливо для автомобиля, достаточное для пробега около 1000 миль (200 л, или 1,25 барреля).

[3] A.B.Lovins. «Drill Rigs and Battieships Are the Answer! (But What Was the Question?)», in R.Reed and F.Fesharaki (eds.), *The Petroleum market in the 1990s* (Westview, Boulder, 1989); A.B.Lovins, «Abating Air-Pollution at Negative Cost via Energy Efficiency» (RMI Publication no. E89-33).

[4] Один гигаватт (ГВт), или 1000 мегаватт (МВт), или миллион киловатт (кВт) — номинальная мощность одной крупной электростанции.

[5] A.Fickett, C. Gellings and A.B.Lovins. «Efficient Use of Electricity», *Scientific American* (Sept.1990).

[6] Efficient Electricity-Use: Estimates of Maximum Energy Savings (EPRI, CU-6746, Mar.1990).

[7] А именно: когда пиковая нагрузка составляла 14 ГВт, долгосрочный прогноз был снижен до 1,2 ГВт/год — примерно 45% того, что планировалось раньше. Затраты предпологаались в пределах 0,3 цента/кВт на работы по повышению эффективности и около 31 долл./кВт пиковой нагрузки на работы по управлению распределением нагрузки. Кроме того, это 55% от планируемого в государственных программах, таких, как 24-й Строительный кодекс, которые ничего не стоят коммунальным службам. Результат мог быть достигнут и без привлечения правительственных программ, при затратах около 0,6 цента/кВт (убедить продавцов в необходимости замены электрооборудования). В среднем это обошлось бы коммунальным службам в 0,1-0,2 цента/кВт. Соответствующие затраты общественности, с учетом вклада потребителей, составили бы в несколько раз больше, но все же не превысили бы 1 цента/кВт.

[8] В течение десяти лет с 1975 по 1985 год потребность США в мощностях малых ГЭС и ветровых станций возросла по сравнению с ростом потребности в энергии ТЭС и АЭС, даже не считая аннулирования заказов на энергию АЭС, составившую около 100 ГВт. В настоящее время ТЭС и АЭС пользуются большими государственными субсидиями, удельное количество которых превышает субсидии на строительство предприятий, использующих возобновляемые источники энергии (см. также [23]).

[9] Поскольку распыленные вложения невелики, легко поддаются изменениям и обходятся дешево, а также быстро окупаются и имеют высокую скорость оборачиваемости, эта практика приводит к отказам от вложений в многомиллиардные ТЭЦ, требующие точного финансового прогноза состояния инвестиций по крайней мере на десять лет вперед.

[10] Большинство (если не все) предложений, будучи принятыми, могли бы гарантироваться реальными и стабильными поставками энергии; большая часть коммунальных служб убедилась, что кооперация с частными предпринимателями более надежна, чем вложения в ТЭЦ.

[11] D.Moskovitz (former Chairman, Maine Public Utilities Commission), устное сообщение, 1989.

[12] Первая ступенька на кривой предложения — почти 92-процентный уровень экономии энергии на освещение, заменяющий расход почти 120 ГВт генерируемой мощности — характеризуется отрицательными затратами (компенсирующими затраты, необходимые на дальнейших ступенях). Это связано с тем, что новое эффективное электрооборудование имеет больший срок эксплуатации, либо требует меньше денег на обслуживание. Экономия может составить до 30 млрд долл. в год в национальном масштабе. Улучшения в конструкции транспортных средств могут увеличить эту сумму почти вдвое.

[13] См. A.B.Lovins. «Making Markets in Resource Efficiency» (RMI Publication no. E89-27).

[14] Там же.

[15] В форме любой комбинации финансовых, информационных, организационных и прочих мер — оборудование, пусконаладка, обучение, функционирование, контроль и обслуживание. Коммунальная служба, продающая в качестве товара упомянутые услуги, может включать в счета плату за поставки соответствующих рекомендаций.

[16] См. п. 13.

[17] Эффективность работы автомобиля зависит от его массы, облегчаемой за счет применения пластиков и композитных материалов. Правда, это требует дополнительных затрат. Если отказаться от включения в процесс сборки множества мелких деталей, то экономия за счет систем контроля режима работы двигателя и лучших аэродинамических характеристик превысит затраты на сборку и структура затрат улучшится, обеспечивая нулевой предельный уровень окупаемости.

[18] Дополнительная эффективность при небольшом положительном предельном уровне окупаемости, без сомнения, будет присутствовать, но здесь о ней не говорится, так же, как и об экономии за счет внедрения некоторых других новых технологий.

[19] K.Menke and J.Woodwell. Water Productivity and Development: Strategies for More Efficient Use (RMI Publication no. W90-10).

[20] Концепция была впоследствии уточнена, и термин «наименьшие затраты» был введен в несколько новаторских методов количественного анализа моим коллегой Роджером Сэнтом [Roger Sant]. Интересно, что в то время, как диаграмма из «Foreign Affairs», по мнению авторов статьи, хорошо иллюстрирует прогноз на будущее, она, на наш взгляд, гораздо лучше показывает реальное предложение на рынке возобновляемых источников энергии в 1988 г., при этом демонстрируя спрос на энергию, раз в десять превышающий реальный для того же года.

[21] Подобно этому, введенный им «солнечный» налог заставлял людей тратить деньги вместо того, чтобы экономить их, а большая часть этих сумм отошла поставщикам энергии. Картеровские кредиты способствовали появлению и распространению различных шарлатанов, полностью блокировав меры, ведущие к снижению затрат. Ожидание кредитов разрушило чуть ли не половину существующих предприятий солнечной энергетики, а другая половина едва выжила, питаясь из пересыхающих каналов поставок необходимых материалов. Конгресс тоже внес свою лепту, и конкурирующие энергетические производства получили большие субсидии.

[22] Например, производство электроэнергии субсидировалось в 11 раз щедрее, чем прямое использование топлива, а ядерная энергетика — в 8 раз щедрее, чем энергосберегающие технологии и возобновляемые источники энергии (кроме гидроэнергетики). В пересчете на единицу поставляемой энергии ядерная энергетика получала в 200 раз больше субсидий по сравнению с энергосбережением.

[23] H.R.Heede. A Preliminary Analysis of Federal Energy Subsidies in FY 1984 (RMI Publication no. CS85-7, 1985), summarized in H.R.Heede and A.B.Lovins, *Hiding the True Cost of Energy Sources*, Wall Street Journal (17 Sept.1985), p. 28.

[24] В основном, за счет сокращения субсидий на энергосбережение и развитие возобновляемых источников энергии. При этом другие аспекты той же политики произвели не меньшие опустошения. Например, в 1988 г. ядерная энергетика получила очередную субсидию на сумму 9 млрд долл. в форме списания долгов. Министерство энергетики США игнорировало предупреждения (в том числе, среди многих, предупреждение автора этой статьи) о том, что эти долги никогда не будут возвращены.

[25] Среди многих примеров только за недавний период можно назвать отказ от правил по восстановлению заброшенных угольных бассейнов, отсутствие контроля за нефтедобычей в Арктике (особенно контроль за загрязнений, связанных с выбросами бурового раствора), а также множество примеров, связанных с проблемами ядерной энергетики, в том числе отказ от обещанного финансирования работ по оценке опасности размещения радиоактивных отходов в Неваде и принятие правил по модернизации ядерных реакторов, не исключающие возможности катастроф типа Чернобыльской. Много примеров такого рода собрано различными инициативными группами, выступающими за охрану окружающей среды.

[26] И это продолжается до сих пор, чему пример — предложения американского Министерства энергетики по стандартизации электрооборудования. Стандарты создаются скорее по произволу создателей, нежели в соответствии с научно обоснованными требованиями.

[27] Большая часть этой энергии просто улетела в трубу — такой вывод можно сделать, если учесть, что на рынке имеются дешевые средства экономичного расхода энергии, используя которые, можно было достичь тех же целей, что и без этих средств.

[28] Расход может оказаться даже большим, если внимательно просчитать каждый год в отдельности.

[29] При этом тираж официального издания «Руководства по удельному расходу горючего» был сокращен на 70%, так что многие покупатели новых автомобилей так и не смогли ознакомиться с этим документом.

[30] A.B.Lovins. «The Origins of the Nuclear Power Fiasco», *Energy Policy Studies* (1986), vol. 3, pp. 7-34 (RMI Publication no. E86-29).

[31] См. п. 23.

[32] Это неверно, поскольку возможность приобретения любой технологии энергосбережения оказывается все-таки дешевле. Например, на уровне предельной окупаемости ядерная энергия стоит гораздо доро-

же, чем внедрение энергосбережения, и в пересчете на доллар вложений сможет заменить меньше сжигаемого органического топлива. Таким образом, вложения в ядерную энергетику вместо вложений в энергосбережение приближают опасность глобального потепления климата.

[33] И по-прежнему дешевле обходится разделение расходов между продавцом и покупателем при поставках энергосберегающих технологий.

[34] Например, в статье «Мегаватты для Арканзаса» [1] подсчитано, что этот штат может экономить 5-7 млрд долл. (по курсу 1986 г.).

[35] Включая экономию электричества всего на четверть от потребляемого количества при затратах, в несколько раз превышающих оценку.

[36] A.B. and L.H.Lovins and L.Ross. «Nucler Power and Nucler Bombs», Foreign Affairs (Summer 1980), vol.58, no.5, pp.1133-77; A.B. and L.H.Lovins, Energy/War: Breaking the Nucceclear Link (Harper & Row Colophon, New York, 1980); P.O'Heffernan, L.H. and A.B.Lovins. The First Nuclear World War (W.W.Norton, New York, 1983; RMI Publication no. S83-14).

[37] A.B. and L.H.Lovins. Brittle Power: Energy Strategy for National Security (originally written for the US Defense Civil Preparedness Agency) (Brick House, Andover, MA, 1982); about 1200 refs., summarized in «The Fragility of Domestic Energy», The Atlantic (Nov. 1983), vol. 252, no. 5, pp.118-26 (RMI Publication no. S83-8). См. также RMI's Energy Security Reader, 2nd edn. (Publication no. S88-45, Oct.1988).

[38] A.B. and L.H.Lovins. «The Avoidable Oil Crisis», The Atlantic (Dec.1987), vol.260, no.6, pp.22-30 (RMI Publication no.S87-25), and letters (Apr.1988), vol. 261, no. 4, pp. 10-11, and (June 1988), vol. 261, no. 6, pp. 10-12, (RMI Publication no. S88-15) and Oil-Risk Insurance: Choosing the Best Buy», GAO Journal (US General Accounting Office, Washington, DC, Summer 1988), vol. 2, pp. 52-60, RMI Publication no. S88-26.

[39] Каждый цент на кВт-час эквивалентен по содержанию тепла продаже нефти по 17 долл. за баррель, то есть текущие расходы США на единицу тепла превышают цены мирового рынка почти в 7 раз.

[40] В Швейцарии, например, существует около 1200 коммунальных служб, но распределением капиталовложений в энергетику ведают лишь узкий круг лиц, связанных с крупными энергопроизводящими компаниями.

[41] J.S.Norgard. «Low Electricity Appliances — Options for the Future», in T.B.Johansson et al. (eds.), Electricity (Lund University Press, Lund, Sweden, 1989). Подсчеты Норгарда не включают в себестоимость обогрева помещений и освещения. Если эти аспекты включить в расчет, то экономия будет еще более заметной (дело в том, что в Дании электричество почти не используется для обогрева помещений).

[42] B.Bodlung et al., «The Challenge of Choices Technology Options for Swedish Electricity» (op. cit., n. 41), pp. 883-947.

[43] Весьма важное для наших проблем новое семейство технологий: изолирующая способность в 2-3 раза выше — такое новшество позволяет лучше сохранять прохладу в летнее время и тепло в зимнее. Окупаемость — 2-3 года, а применение позволит сэкономить в США газ

и нефть в масштабе двух Алясок или двух Северных морей при цене в несколько долл. за баррель.

[44] Это связано с тем, что холодильное оборудование хуже поддается мерам по энергосбережению и его труднее обслуживать, а климат Таиланда и тамошние стандарты жилищного строительства более благоприятны для использования упомянутых технологий.

[45] Один советский экономист-энергетик сообщает, что плата за электроэнергию составляет лишь треть от реальной стоимости, а меры по энергосбережению развиты раза в три хуже, чем на Западе. Следовательно, возможности для энергосбережения в б.СССР весьма широки.

[46] J.Goldemberg, Т.В.Johansson, А.К.N.Reddy and R.H.Williams. Energy for a Sustainable (World Resources Institute, Washington, DC, 1987, and Wiley-Eastern, New Delhi, 1988).

[47] A.B. and L.H.Lovins, F.Krause and W.Bach. Least-Cost Energy: Solving the CO₂ Problem (Brick House, Andover, MA, 1981, reprinted in 1989 by RMI as Publication no. E89-17; summarized in Climatic Change (1982), vol. 4, pp. 217-20 (RMI Publication no. E82-2).

[48] Гаджил (Gadgil) (сейчас работает в лаборатории Лоуренса в Беркли) и М.Анджали Шастри (M.Anjali Sastry) из Института Рокки-Маунтин в сотрудничестве с индийскими учеными разработали способ демонстрации этого эффекта.

[49] Когда планировалось вводить в эксплуатацию месторождения по предлагаемым розничным ценам около 20 долл. за баррель сырой нефти, плановики компании «Шелл», видя приближение катастрофы 1986 г., заявили, что весь проект вступит в силу только в случае, если цены будут ограничены 12 долл. за баррель. Инженеры первоначально считали, что это невозможно. Чтобы достичь этого, понадобился год. По-видимому, до тех пор им было сказано вводить в действие новые месторождения как можно скорее, невзирая на цены. На этот же раз было указано делать это возможно более дешевым способом, даже если это связано с небольшой затянкой. Тогда они избрали совершенно иной подход. Сколько же было еще таких случаев в деле технологии снабжения, когда мы получали неверный ответ, неправильно формулируя задачу?

[50] См. RMI's Catalog of Water-Efficient Technologies for the Urban/Residential Sector (Publication no. W87-30, 1988).

[51] Подобные тому, которые ныне на коммерческой основе практикует д-р Джон Тодд с сотрудниками в корпорации «Four Elements» (Фолмут, штат Массачусетс, США). Они построили комплексную теплицу, включающую в себя болото, где перерабатывают «сырые» отходы в ультрачистую питьевую воду, в культурные растения, дающие урожай, и в цветы, причем капиталовложения составили лишь одну треть обычных для строительства химического производства.

[52] Возможно, как в Бразилии, где в систему городского транспорта введены весьма эффективные улучшения, предложенные Хайме Лернером (Jaime Lerner).

[53] Удивительно, но это справедливо даже для наиболее экономически развитых, плотно заселенных стран с холодным климатом. Вообще, среди стран ОЭСР наилучшее положение с возобновляемыми источниками характерно для Японии, но и в других странах ведутся исследо-

вания, приводящие к хорошим результатам. Например, усовершенствованные Дэвидом Миллсом (David Mills) (Университет Сиднея) селективные поверхности для аккумуляции солнечного излучения позволяют получать при глубоком вакууме температуры до 600 град.С — и это в условиях пасмурного зимнего дня в Стокгольме.

[54] См. табл. 5.1. И все равно это вопрос технологии. Как однажды заметил Эрни Робертсон (Ernie Robertson) из Виннипегского Института биомассы, есть три пути превращения известняка в строительный материал: 1) Нарезать его на блоки. Это неинтересно. 2) Нагреть до тысячи градусов и превратить в портланд-цемент. Это незелегантно. 3) Заставить курицу снести яйцо. Оболочка яйца в 7 раз прочнее портланд-цемента. Это говорит о том, что курице известны секреты технологии изготовления великолепного стройматериала при температуре окружающей среды.

[55] Это верно и при пересчете на душу населения — за период 1975-1984 гг. потребление стали на душу населения упало на 11,5% (как в развитых, так и в развивающихся странах: в Англии на 32%, в Швеции — на 43%, в Бразилии — на 40%, в Аргентине — на 46%, на Филиппинах на 50 %, и т.д.). Это произошло отчасти из-за увеличения доли экспорта сталеемкой продукции, но не только — так, например, снижается средняя масса стальных деталей в автомобиле.

[56] Многие преимущества использования глинобитных технологий были заново открыты в наше время (работы Плайни Фиска (Pliny Fisk) из Техаса или Гассана Фатхи (Hassan Fathy) из Египта.

Примечания к главе 6

[1] Cairo Compact, report of the Cairo Conference on Preparing for Climate Change. Dec. 1989 (Climate Institute, Washington, DC, 1990).

[2] Draft report. Energy and Industry Subgroup of IPCC Working Group 3. 26 Mar. 1990, p. E-4.

[3] L.D.Ostlie. «Creating Production Economies of Scale Though Government Action: The Case of Biomass Energy from Whole-Tree Burnings», Forum on Renewable Energy and Climate Change. Washington, DC, 14 June 1990.

[4] J.A.Duffe and W.A.Beckman. Solar Energy Thermal Processes (John Wiley & Sons. New York, 1974), p. 4.

[5] Adapted from International Energy Agency. Renewable Sources of Energy (International Energy Agency, Paris, 1987), p. 29.

[6] R.San Martin. «Environmental Emission from Energy Technology Systems: The Total Fuel Cycle», Forum on Renewable Energy and Climate Change, 14 June 1989 (US Department of Energy, Washington, DC, 1989) p.5.

[7] IPCC, n. 2, pp. 2-14.

[8] IEA, Renewable Sources, n. 5, p. 24.

[10] Meridian Corporation, for US Department of Energy, Characterization of U.S. Energy Resources and Reserves (Washington, DC, June 1989), p. 19.

[11] Там же, p. 25.

- [12] Там же, p. 30.
- [13] Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA) of 1978.
- [14] P. Gipe. «Wind Energy Comes of Age in California», paper for American Society of Mechanical Engineers and the National Aeronautical and Space Administration, 1989.
- [15] C.LaPorta and K.Porter. «1984 Wind Energy Market Status Survey, American Wind Energy Association. Alexandria, Virginia, 1985.
- [16] L.J.Rogers. «The U.S. Department of Energy Wind Technology Research Program», Presentation to the American Wind Energy Association R&D Committee, 5 Dec. 1989.
- [17] P. Gipe, n. 14.
- [18] Там же.
- [19] D.R.Smith et al., PG&E's Evaluation of Wind Energy (Pacific Gas & Electric Company Department: of Research and Development, San Ramon, California, 1989).
- [20] R.Lynette. «Wind Energy Systems», Forum on Renewable Energy and Climate Change (Washington, DC, 14 June 1989).
- [21] N.Rader. Power Surge (Public Citizen, Washington, DC, 1989).
- [22] Там же.
- [23] M.Lotker. Luz Development and Finance Company, presentation at SOLTECH 90. Austin, Texas, Mar.1990.
- [24] Five Year Research and Development Plan, Solar Buildings (US Department of Energy, Washington, DC, 1986).
- [25] C.LaPorta, unpublished analysis for US Environmental Protection Agency Division of Global Change. Washington, DC, 1990).
- [26] Устное сообщение Marvin Goodman, Architect, Kingston, Jamaica.
- [27] Solar Collector Manufacturing Activity Report (Energy Information Administration. US Department of Energy, Washington, DC, 1988).
- [28] LaPorta, n. 25.
- [29] Статистические данные Solar Energy Industries Association, Washington, DC.
- [30] Statistical Abstract of the United States (US Government Printing Office, Washington, DC, 1989).
- [31] Department of Energy staff developing the US National Energy Strategy (устное сообщение).
- [32] Solar Dynamics, Bridgetown, Barbados (интервью).
- [33] Solar Water Heating (California Public Utility Commission, San Francisco, California, 1985).
- [34] Volunteers in Technical Assistance, Arlington, Virginia, 1989 (интервью с сотрудниками).
- [35] Power Systems Group, Ametek, Solar Energy Handbook: Theory and Applications (Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania, 1979), p.82.
- [36] «Taking Change of Your Energy Costs», draft report for US Department of Energy CBY Associates (Washington, DC, 1990).
- [37] O.Hohmeyer. Social Costs of Energy Consumption (Springen-Verlag, Berlin, 1988).
- [38] Там же.
- [39] Устное сообщение O.Hohmeyer, Washington, DC, 1989.

[40] Устное сообщение L.Nelson, president, California Solar Energy Industries Association, Mar.1990.

[41] L.Nelson, CALSEIA.

[42] Устное сообщение R.Bingman, president, Ramada Energy Company, Phoenix, Arizona, 1988.

Примечания к главе 7

[1] M.A.DeLuchi et al., «Transportation Fuels and the Greenhouse Effect», Transportation Research Record.

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change, Scientific Assessment of Climate Change (Report of Working Group 1, June 1990).

[3] Regulatory Impact Analysis: Protection of Stratospheric Ozone (Environmental Protection Agency, Washington, DC, Dec. 1987).

[4] «The Transport Sector and Global Warming», background study for OTA Report, Parsons, 31 May 1989.

[5] US Congressional Office of Technology Assessment, Apr.1988.

[6] US EPA Mobile 4 Emissions Model, 1989.

[7] B.Lubkert and S. de Tilly. An Emission Inventory for SO₂, NO and VOCs in North-Western Europe (Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, 1987).

[8] «OECD Environmental Data» (Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, 1987).

[9] A.M.Thompson and R.J.Cicerine. «Atmospheric CH₄, CO and OH from 1860 to 1985», Nature (1986), vol. 321, pp. 148-50; G.J.MacDonald. «The Greenhouse Effect and Climate Change», доклад, представленный комиссии сената США, январь 1987 г.

[10] V.Ramanathan. «The Greenhouse Theory Climate Change: A Test by an Inadvertent Global Experiment», Science, 15 Apr.1988.

[11] MacDonald, n. 9.

[12] «Methane: the hidden greenhouse gas», New Scientist, (6 Maj 1989).

[13] M.A.K.Khalil and R.A.Rasmussen. «Carbon Monoxide in the Earth's Atmosphere: Indications of a Global Increase», Nature (1988), vol., 28 Jan. 332, pp. 242-5.

[14] D.A.Lashof and D.R.Ahuja. «Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming», Nature (1990), vol. 344, pp. 529.

[15] National Air Quality and Emissions Trends Report, 1988 (US Environmental Protection Agency, Mar.1990).

[16] L.M.Thomas. Testimony before the Subcommittee on Health and the Environment, Committee on Energy and Commerce, Washington, DC, 19 Feb.1987.

[17] «Tighter Ozone Standard Urged by Scientists», Science (24 June 1988).

[18] J.J.Mackenzie and M.El-Ashry. Ill Winds Pollution's Toll and Group (World Resources Institute, Sept.1988).

[19] American Lung Association. Comments to EPA, 1988.

[20] См. п. 16.

[21] Acute Effects of Carbon Monoxide Exposure on Individuals with Coronary Artery Disease (Health Effects Institute Research Report no. 25, Nov. 1989).

[22] F.B.Stern et al. Heart Disease Mortality Among and Tunnel Officers Exposed to Vehicular Exhaust (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio.

[23] См. п. 10.

[24] Lindvall. Health Effects of Nitrogen Dioxide and Oxidants (Department of Environmental Hygiene, National Institute of Environmental Medicine and Karolinska Institute, Mar.1982).

[25] Orehek et al. «Effect of Short-Term, Low-Nitrogen Dioxide Exposure on Bronchial Sensitivity of Asthmatic Patients», The Journal of Clinical Investigation (Feb.1976), vol.57; Mostardi et al., «The University of Akron Study on Air Pollution and Human Effects», Archives of Environmental Health (Sept.-Oct. 1981), vol. 36, no. 5.

[26] G.S.Whetstone and A.Rosencranz. Acid Rain in Europe and North America (Environmental Law Institute, 1983).

[27] International Conference of Ministers on Acid Rain. Ottawa, Canada, Mar.1985.

[28] R.A.Derwent. «A Better Way to Control Pollution», Nature (1988), vol. 331.

[29] International Conference of Ministers on Acid Rain. Ottawa, Canada, Mar. 1985.

Примечания к главе 8

[1] Nicholas Ridley, quoted in C. Flavin. «Slowing Global Warming» in State of the World 1990 (W.W.Norton, New York, 1990).

[2] Ядерный цикл характеризуется весьма малыми объемами выбросов углекислого газа (использование органического топлива на этапах добычи урановой руды и транспортных перевозок). Согласно американским данным, реактор на кипящей воде обеспечивает выбросы двуокиси углерода в 90 раз меньше, чем угольная ТЭС той же мощности. По немецким данным, реактор на сжатой воде выбрасывает в 20 раз меньше CO_2 , чем угольная ТЭС. Использование возобновляемых источников в этом смысле гораздо эффективнее — фотовольтаика обеспечивает выбросы на уровне 10% от АЭС на единицу мощности, а ветровая электростанция — 20%.

[3] S.Boyle. Limiting Climate Change: An Assessment of Global/Regional/National Energy- CO_2 Scenarios (Association for the Conservation of Energy, 9 Sherlock Mews, London, 1990).

[4] H.L. Schmid. Energy Scenarios, Technologies and Strategies and Their Impact on CO_2 Emissions (Federal Energy Office, Berne, Switzerland, Mar. 1989).

[5] J.Cook. «Nuclear Follies», Forbes, 11 Feb.1985.

[6] D.Fishlock. «Lord Marshall Attacks U-Turn on Reactors», Financial Times, 29 Jan. 1990.

[7] B.Keepin and G.Kats. «Greenhouse Warming: Comparative Analysis of Nuclear and Efficiency Abatement Strategies», Energy Policy (Dec. 1988), vol. 16, no. 6, pp. 538-61.

[8] Scenario B' in J.A.Edmonds, J.Reilly, J.R.Trabalka and D.E.Reichle. An Analysis of Possible Future Atmospheric Retention of Fossil Fuel CO₂ (United States Department of Energy DOE/OR/21400-1, Washington, DC, Sept.1984).

[9] В опубликованной технической версии этого анализа [7] второй сценарий также включен в рассмотрение, а совместный учет двух сценариев приводит к ряду результатов, которые отражают неопределенность в моделях будущего, основанных на экстраполяции статус-кво. Поскольку выводы схожи, здесь приводится сценарий с наименее экстремальными параметрами.

[10] J.Edmonds and J.Reilly. «Global Energy and CO₂ to the Year 2050», Energy Journal (1983), vol. 4, no. 3, pp. 21-47; J.Edmonds and J.Reilly. «A Long-Term Global Energy-Economic Model of Carbon Dioxide Release from Fossil Fuel Use», Energy Economics (1983), vol. 5, pp. 74-88; J.M.Reilly et al. «Uncertainty Analysis of the IEA/ORAU CO₂ Emissions Model», Energy Journal (1987), vol. 8, no. 3, pp. 1-30.

[11] Строго говоря, ТВт представляет собой единицу мощности, а ТВт-год — единицу энергии. Более точно было бы ставить в этом случае такую единицу, как тераватт-год/год, но, поскольку год находится и в числителе, и в знаменателе, то для обозначения ежегодного энергопотребления используется просто ТВт.

[12] В материалах IPCC потребность в энергии на 2025 г. оценена в 24,2 ТВт, а выбросы CO₂ — на уровне 12,2 Гт/год.

[13] Уголь является наиболее углеродоемким топливом, за ним следуют нефть и природный газ. Эмиссии углерода на единицу топлива составляют для угля 0,75 Гт/ТВт-год, для нефти 0,62 Гт/ТВт-год, для природного газа 0,43 Гт/ТВт-год.

[14] Задержка по времени обусловлена тепловой инерцией океанов, которые нагреваются довольно медленно.

[15] При этом предполагается небольшой вклад нефтеносных сланцев и песчаников. Заметим, что не учитываются также выбросы такого парникового газа, как двуокись азота как результат сжигания угля.

[16] Привыкнув к тому, что последствия парникового эффекта рассматриваются как минимум на сто лет вперед, читатель может удивиться, почему здесь речь идет лишь о ближайших нескольких десятилетиях. Дело в том, что здесь рассматриваются лишь наиболее достоверные оценки будущего ядерной энергетики, а достоверность снижается по мере увеличения долгосрочности прогноза. Для простоты и большей весомости аргументов будем предполагать, что позднее упомянутого срока вся энергия будет добываться из источников, которые не ведут к выбросам углекислого газа. Поэтому все расчеты и оценки ограничиваются 2025 г. (если смотреть дальше, то интенсивность строительства АЭС только возрастет по сравнению с приведенными здесь оценками).

[17] «A Comparison of Future Costs of Nuclear and CoalFired Electricity: An Update» (Study Group of the Committee on Financial Considerations US Council for Energy Awareness, July 1987).

[18] Этот рисунок объяснен в разделе 8.2.1.

[19] Устное сообщение, French Embassy, Washington, DC, Oct. 1987.

[20] С этого момента и далее под кВ, МВ и ГВ подразумевается электричество, или энергетическая мощность. Причем $1 \text{ ГВ} = 1000 \text{ МВ} = 1000\,000 \text{ кВ}$.

[21] Еще одно оптимистическое допущение заключается в том, что в данном анализе игнорируется энергия (и связанный с ее производством выброс углерода), которая затрачивается на строительство атомной установки. Одно недавнее исследование показало, что крупные атомные энергетические системы в состоянии давать лишь относительно малое количество энергии «в чистом виде» (т.е., за вычетом расхода на собственные нужды), и то лишь при весьма оптимистических допущениях, а при менее оптимистических — пренебрежимо малое или даже отрицательное его количество. (Это же исследование ссылается на ранее выполненный анализ, согласно которому ветровые энергетические системы вовсе не являются производителями электричества «в чистом виде», однако это утверждение относится к конструкциям, выполненным до 1985 г., после чего в них были вынесены существенные усовершенствования. См. G.Tyner Sr., R.Costanza, R.G.Fowler. «The Net-Energy Yield of Nuclear Power». Energy. 1988. Vol. 13. N 1. P. p. 73-81.

[22] Во всех случаях преобразование угольного топлива из первичного во вторичное даст экономию 33%, а факторы мощности АЭС дают 65% (среднемировое значение — 63% в год), при этом срок эксплуатации АЭС принимается равным 30 годам. Это типичные средние оценки, и по мере того, как они будут меняться с течением времени, будет меняться и результат, который сейчас трудно предсказать. Кроме того, будущие изменения могут взаимно компенсироваться — например: улучшение технологии преобразования угля потребует увеличения мощности АЭС для замены новых количеств угля, в то время как факторы мощности будут наоборот, снижать эти показатели. Чем вдаваться в такие подробности, лучше принять на будущее реальные цифры сегодняшней ситуации.

[23] Nucleonics Week, 4 June 1987.

[24] В развивающихся странах факторы мощности станции имеют тенденцию к уменьшению, что означает увеличение объемов строительства.

[25] См. В.Keepin and G.Kats, п. 7.

[26] J.Van Domelen. Power to Spare: The World Bank and Electricity Conservation (The World Wildlife Fund, Washington, DC, 1988).

[27] Эмиссии углекислого газа в 2025 г. можно грубо оценить на том же уровне, что и сейчас, а впоследствии они начнут расти в соответствии со сценарием в результате сжигания угля и нефти [7].

[28] В принципе, ядерная энергия может заменить энергию органического топлива (например, автомобили будут ездить на электричестве или на водороде, получаемом в результате электролиза воды). Однако

основной вопрос касается замены угля, что потребует строительства такого количества АЭС, которое человечество никак не сможет себе позволить.

[29] N.Kouvaritakis. Exploring the Robustness of Energy Policy Measures Designed to Reduce Long-Term Accumulations of Carbon Dioxide: An Approach (International Energy Agency, Paris, June 1989).

[30] N.Kouvaritakis. Policy Measures and their Impact on CO₂ Emissions and Accumulations (International Energy Agency, Paris, Dec. 1989).

[31] См. B.Keepin and G.Kats, п. 7.

[32] J.Goldemberg, T.B.Johnsson, A.K.Reddy and R.H.Williams. Energy for a Sustainable World (Wiley Eastern Ltd, New Delhi, 1988).

[33] Подсчитано с использованием приблизительных эмпирических значений в 3000 долл. на 1 кВт вновь создаваемой мощности (долл. 1987 г.), 20% ежегодной фиксированной ставки (в том числе прибыль с вложенного капитала в процессе строительства), фактора мощности на уровне 0,65 (что весьма оптимистично для АЭС США) и платы в 1 цент на кВт за поставки топлива и обслуживание. Цены на кВт поставляемой энергии будут на 5% выше за счет потерь энергии в сети. В развивающихся странах эти потери гораздо выше — до 40% (в сценарии это, кстати, не учитывается). Заметим, что экономия на конечном этапе сюда не входит — это вне условий задачи. Таким образом, строго говоря, анализ должен был бы включать сравнение затрат на энергосбережение со стоимостью поставляемой энергии. Здесь это не сделано, но, будучи сделано, привело бы к небольшим отклонениям результатов, представленных на рис. 8.2 и 8.3, в сторону АЭС.

[34] См., например, H.Geller et al., Annual Review of Energy. 1987. Vol. 12. P. 357, где в табл.4 названа средне-взвешенная цена мер, направленных на энергосбережение; она составляет 2 цента/кВтч. Подробное исследование жилого сектора в штате Мичиган показало, что 29% потребления энергии, планируемого на 2005 г., может быть сэкономлено при средних затратах около 2 центов на 1 кВтч. См. F.Krause, A.Rosenfeld, M.Levine. Analysis of Michigan's Demand-Side Electricity Resources in Residential Sector. (Lawrence Berkeley Laboratory, Berkely, CA. Apr.1988).

[35] P. M.Jones. «Greenhouse Warming — a Comment», Energy Policy (Dec. 1989), vol. 17, no. 6, pp. 613-4; F.Conrad «Kernenergie-Ausbau vs. rationellere Energienutzung zur Loesung des CO₂ Problems?» Atomwirtschaft (Aug./Sept. 1989).

[36] Деньги, которые не вложены в ядерную энергетику, не обязательно вкладываются в развитие энергосберегающих технологий, но деньги, вложенные в АЭС, во всяком случае не попадают в энергосбережение. Например, ряд американских коммунальных служб прекратил вложение в энергосбережение, чтобы оживить свои ранее сделанные чрезмерно большие инвестиции в ядерную энергетику и станции, работающие на органическом топливе. Это приведет к пиковой потребности в 35 ГВт к 2000 г.

[37] См. B.Keepin and G.Kats, п. 7.

[38] A Comparison of Future Costs of Nuclear and CoalFired Electricity: An Update (Study Group of the Committee on Financial Considerati-

ons US Council for Energy Awareness (USCEA), Washington, DC, July 1987).

[39] P.E.Gray. «Nuclear Reactors Everyone Will Love», Wall Street Journal, 17 Aug. 1989.

[40-41] A.B.Lovins et al. The State of the Art: Drivepower Service (Rocky Mountain Institute, Snowmass, Colorado, Apr.1989).

[42] C.Flavin. Slowing Global Warming: A Worldwide Strategy (Worldwatch Paper 91, Worldwatch Institute, Washington, DC).

[43] B.Keepin and G.Kats. «The Efficiency-Renewable Synergism», Energy Policy (1989), vol. 17, pp. 614-6.

[44] B.Keepin and M.Barrett. «Critique of UK IPCC Case Study», June 1990.

[45] T.Jackson and S.Roberts. Getting out of the Greenhouse: An Agenda for UK Action on Energy Policy (Friends of the Earth, London, Dec. 1989).

[46] A.Gadgil and G. de M.Jannuzzi. «Conservation Potential of Compact Fluorescent Lamps in India and Brazil» (Lawrence Berkeley Laboratory, 2 May 1989).

[47] Цифры даны без пересчета долларов 1985 г. в нынешние. H.Geller et al., «Electricity Conservation in Brazil: Potential and Progress». Energy. 1988. Vol. 13. N 6. P.p. 469-483.

[48] L.M.Lidsky. «Safe Nuclear Power», The New Republic, 28 Dec. 1987.

[49] A.M.Weinberg and I.Spiewak. «Inherently Safe Nuclear Reactors and a Second Nuclear Era», Science, 29 June 1984.

[50] K.E.Stahlkopf, J.C. DeVine and W.R.Sugnet. US ALWR Programme Sets Out Utility Requirements for Future Plants (Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1988).

[51] C.F.McDonald. «Nuclear Power — a Technology Vector in Carbon Dioxide Emission Reduction and Acid Rain Abatement», 10th International Conference SMiRT, CA, 14-18 Aug.1989.

[52] L.Hahn and B.Nockenburger. «Aspekte des Export und der Militaerischen Nutzbarkeit von HTR-Modulanlagen», Aufnag der Gruenen im Bundestag (Oeko Institute e.V., Freiburg, May 1989).

[53] «Outlook on Advanced Reactors», Nucleonics Week, 30 Mar 1989, quoted in Flavin, n. 1.

[54] Там же.

[55] N.Rader et al. Power Surge: The Status and Near-Term Potential of Renewable Egergy Technologies (Public Citizen, Washington, DC, May 1989).

[56] Wind Energy Denmark: Research and Technological Development, 1990 (Ministry of Energy, Danish Energy Agency, Copenhagen, Denmark, 1990).

[57] См. B.Keepin and M.Barrett, n. 44.

[58] J.Ogden, R.H.Williams and M.Fulmer. Cogeneration Applications of Biomass Gasifier/Gas Turbine Technologies in the Cane Sugar and Alcohol Industries (Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, Princeton, NJ, 1990).

[59] См. N.Rader et al., n. 55.

[60] R.L.San Martin. Environmental Emissions from Energy Technology Systems: The Total Fuel Cycle (US Department of Energy, Washington, DC, Apr. 1989).

[61] Следует иметь в виду, что это эквивалент собственной выработки электроэнергии.

[62] The Potential of Renewable Energy: An Interlaboratory White Paper United States Department of Energy, SERI/TP-260-3674, DE 90000322, Washington, DC, Mar. 1990), Appendix G.

[63] J.Ogden and R.H.Williams. Solar Hydrogen: Moving Beyond Fossil Fuels. World Resources Institute, Washington, DC, Oct. 1989).

[64] Там же.

[65] См. N.Rader et al., n. 55.

[66] B.Bodlung, E.Mills, T.Karlsson and T.B.Johansson. «The Challenge of Choices: Technology Options for the Swedish Electricity Sector», in Johansson et al., (eds.), Electricity (Lund University Press, Lund, Sweden, 1989).

[67] O.Hohmeyer. Social Costs of Energy Consumption; Effects of Electricity Generation in the Federal Republic of Germany (Springer Verlag, New York, 1988).

[68] См. N.Rader et al., n. 55.

[69] P.Jones. «Social Costs of Energy», Atom (1990), vol. 403, pp. 23-7.

[70] E.Teller, цит. American Association of Petroleum Geologists, quoted in San Francisco Chronicle, 7 June 1990.

[72] C.Hohnemser. «The Accident at Chernobyl: Health and Environmental Consequences and the Implications for Risk Management», Annual Review of Energy 13 (Palo Alto, CA 1988), pp. 383-428.

[73] Там же. F.V.Hippel and T.B.Cochran. «Chernobyl: Estimating Long Term Health Effects», Bulletin of Atomic Scientists (Aug./Sept. 1986), vol 3, no. 1.

[74] C.Flavin. «Reassessing Nuclear Power», in State of the World 1987, (W.W.Norton, New York, 1987).

[75] M.Simons. «Study in East Finds Unsafe Atom Plants», International Herald Tribune, 8 June 1990.

[76] S.Islam and K.Lindgren. «How Many Reactor Accidents Will There Be?», Nature (21 Aug. 1986).

[77] Managing the Nation's Commercial High-Level Radiactive Waste (Office of Technology Assessment, Washington, DC, 1985).

[78] L.J.Carter. «Nuclear Imperatives and Public Dealing with Radioactive Waste», Issues in Science and Technology (Winter 1987).

[79] E.W.Colglazier and R.B.Langum. «Policy Conflicts in the Proctss for Siting Nuclear Waste Repositories», Annual Review of Energy 13 (Palo Alto, CA, 1988), pp. 317-57.

[80] «Nuclear Cleanup Costs Go Higher: 50 per cent over original estimate», San Francisco Chronicle, 4 July 1990).

[81] L.Roberts. «Atomic Bomb Doses Reassessed», Science, 18 Dec. 1987.

[82] M.J.Gardner et al. «Results of Case-Control Study of Leukaemia and Lymphpma Among Young People Near Sellafield Nuclear Plant in West

Cumbria» and «Methods and Basic Data of Case-control Study of Leukaemia and Lymphoma among Young People Near Sellafield Nuclear Plant in West Cumbria», British Medical Journal, 17 Feb. 1990.

[83] L.Roberts. «British Radiation Study Throws Experts in to Tizzy», Science, 6 apr. 1990.

[84] «BNF cover fallout», The Times, 10 Mar. 1990.

[85] D.Albright and H.A.Feiveson. «Plutonium recycling and the Problem of Nuclear Proliferation», Annual Review of Energy 13 (Palo Alto, CA, 1988), pp. 239-65.

[86] United States Department of Energy, n. 62, p. 8.

Примечания к главе 9

[1] Международные соглашения по кислотным дождям включают в себя Директивы ЕЭС по крупным топливноэнергетическим предприятиям и Женевскую конвенцию по дальнему трансграничному переносу загрязнений воздуха. В этих документах уровни загрязнения базируются на понятии критической нагрузки, т. е. такого загрязнения, которое еще не ведет к долгосрочным изменениям в экосистемах.

[2] J.Sweet and A.Tickler. «Memorandum on the energy market implications of flue gas desulphurisation and alternative means of reducing emissions» (См. Greenpeace Atmosphere Campaign Report, Apr, 1990).

[3] Идея о том, что фреоны могут истощать озоновый слой, сначала была обоснована теоретически.

[4] Открытие озоновой дыры над Антарктикой было сделано Британской Антарктической службой в 1982 г. Результаты не публиковались до 1985 г., так как выглядели столь невероятными, что потребовали двух лет проверки.

[5] H. Steven and A. Lindley. New Scientist, 16 June 1990, p. 48.

[6] J.S.Hoffman and M.J.Gibbs. Future concentrations of stratospheric chlorine and bromine (US Environmental Protection Agency, 1988).

[7] Fifty percent more: the failure of the Montreal Protocol (Greenpeace International. June 1990).

[8] Intergovernmental Panel on Climate Change, Report to IPCC from Working Group 1. Scientific Assessment of Climate Change (June 1990), chap. 2.

[9] Там же, chap. 1.

[10] J.Houghton, Windsor, 25 May 1990. Выступление на пресс-конференции.

[11] См. п. 8, chap 2.

[12] J.K.Leggett, New Scientist, 6 July 1990.

[13] J.Goldemberg, T.B.Johansson, A.K.N.Reddy and R.H.Williams. Energy for a sustainable world. (John Wiley and sons, 1988).

[14] Там же.

[15] S.Boyle and D.Olivier. The relationship between economic growth and energy use/CO₂ emissions: some comments on the analysis by Professor Y.Kaya for the Energy and Industry Sub-Group of IPCC Working Group (Greenpeace International, 13 Nov. 1989).

[16] J.F.Bookout. «Two centuries of fossil fuel energy», Episodes (Dec. 1989), vol. 12, pp. 257-62.

[17] В Великобритании, например, министр энергетики Джон Уэйкхем (John Wakeham) объявил в палате общин 19 февраля 1990 г., что бюджет на 1989-1990 гг., запланированный на изучение и развитие возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий, составляет соответственно 18 и 8,9 млн фунтов стерлингов. Бюджет же ядерной энергетики в то же время составил 137 млн фунтов стерлингов. Подобное соотношение имеет место и в ЕЭС, и в США периода Рейгана-Буша.

[18] См., например, историю «Salter's Duck», установки для использования энергии волн, которая была ликвидирована в 1982 г. усилиями сторонников атомной энергии в Министерстве энергетики Великобритании как раз в то время, когда она подтвердила свою способность поставлять электричество в сеть страны по цене 5,5 пенса за киловатт-час. См. J.Jeffrey. «The parting of the waves». Guardian, 16 February, 1990.

[19] IPCC, n. 8, Policymakers Summary, p. 26.

[20] Выступление проф. С.Манабе на пресс-конференции во время конференции Американской ассоциации развития науки 1990 г. Новый Орлеан. 2 февраля 1990 г.

[21] R.Sivard. World Military and Social Expenditures, (1989).

[22] Опрос населения, цитируемый во введении к Отчету организации Гринпис.

[23] J.Goldemberg, presentation to the 39th Pugwash Conference on Science and World Affairs, Cambridge, MA, USA, 23 July 1989.

[24] Intergovernmental Panel on Climate Change, Report to IPCC from Working Group 3 Response Strategies (June 1990).

[25] S.Boyle and J.Ardill. The Greenhouse Effect: a practical guide to the world's changing (New English Library, 1989); P.M.Kelly and J.Gribbin. Winds of Change (Hodder and Stoughton, 1989); F.Pearce. Turning up the Heat (Paladin, 1989).

[26] Association for the Conservation of Energy/Worldwide Fund for Nature, Solving the Greenhouse dilemma: A strategy for the UK (June 1989).

[27] Там же.

[28] J.Reganold, R.I.Papendick and J.F.Parr. «Sustainable agriculture». Scientific American (June-1990), pp. 72-8.

[29] См. Bookout, n. 16.